

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE BRAUNSCHWEIG
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA – PROF. DR.-ING. G. REHM



Untersuchungen über das Verhalten der Biegedruckzone
bei Stahlbetonbauteilen unter besonderer Berücksich-
tigung der Brandbeanspruchung bei Schutzbauten.

B e r i c h t

erstattet von

o.Prof.Dr.-Ing.K. Kordina

November 1968

Die Untersuchungen wurden im Auftrag des Bundesministers für
Wohnungswesen und Städtebau (Az. IV B 3-R07.1/67) durchgeführt.

<u>Inhaltsübersicht:</u>	<u>Seite</u>
1. Allgemeines, Zweck der Untersuchungen	3
2. Versuchsplanung und -vorbereitung	3
2.1 Brandversuche	4
2.11 Versuchskörper	4
2.111 Statisches System	4
2.112 Querschnittsmessungen und Beanspruchungen	4
2.113 Baustoffe	5
2.12 Beheizung	5
2.13 Messungen	6
2.2 Versuche unter Normaltemperatur	7
2.21 Versuchskörper	7
2.22 Messungen	7
3. Versuchsaufbau und -durchführung	7
3.1 Brandversuche	7
3.11 Brandkammer und Beheizung	7
3.12 Einbau und Belastung der Versuchsplatten	8
3.13 Messungen während des Versuchs	8
3.14 Sonstige Beobachtungen während des Versuchs	9
3.2 Versuche unter Normaltemperatur	9
3.21 Einbau und Belastung der Versuchsplatten	9
3.22 Messungen während des Versuchs	9
4. Versuchsergebnisse	9
4.1 Brandversuche	9
4.11 Versuchskörper 1.1	9
4.12 " 2.1	10
4.13 " 3.1	11
4.14 " 5.1	12
4.2 Versuche unter Normaltemperatur	13
5. Deutung der Versuchsergebnisse	14
Verzeichnis der Anlagen	
Verzeichnis der Bilder	

1. Allgemeines; Zweck der Untersuchungen

Im Zusammenhang mit Untersuchungen von Schutzbauten gegen Waffenwirkungen steht eine Reihe von Fragen der Brandeinwirkung auf Bauteile an. Bei offenen Bränden oder schwelenden Trümmerkegeln muß auf den Decken der Schutzräume mit lang einwirkenden hohen Temperaturen gerechnet werden. Bei allen statisch bestimmten Konstruktionen (Platten, Balken) befindet sich dabei die Biegedruckzone auf der dem Brand zugekehrten Seite, und es ist denkbar, daß ein Bauteil durch Versagen der Biegedruckzone zu Bruch geht, ohne daß die Tragkraft der Zugbewehrung erschöpft ist.

Für eine rechnerische Behandlung der Aufgabe fehlen vorerst die Grundwerte; dementsprechend sollen die vorliegenden ersten Untersuchungen zum Studium des Verformungs- und Tragfähigkeitsverhaltens der Biegedruckzone unter hohen Temperaturen und als Grundlage für weitere gezielte Arbeiten dienen.

2. Versuchsplanung und -vorbereitung

Die Bruchschnittkräfte eines Konstruktionselementes hängen ab von der Anstrengung des Materials und von den Erwärmungsverhältnissen im Querschnitt. Um letztere möglichst überschaubar zu halten, wurden als Versuchskörper wegen ihrer eindimensionalen Temperaturfelder nur Platten gewählt.

Variiert wurden a) die Betonrandspannungen σ_b unter Gebrauchslast
g + p

b) die Plattenstärke;

nicht variiert wurden:

a) die Stahlzugspannung σ_e unter Gebrauchslast;

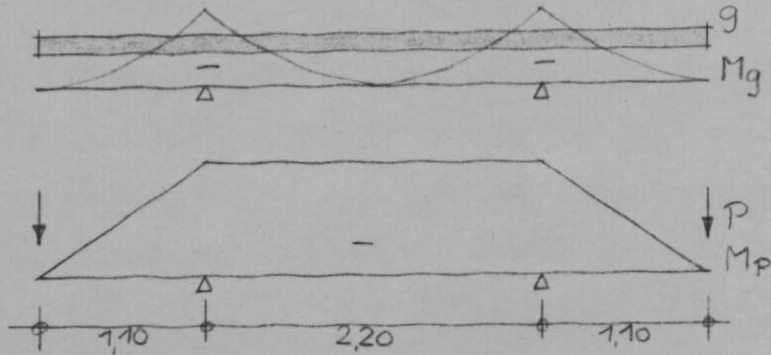
b) die Materialgüten.

2.1 Brandversuche

2.11 Versuchskörper

2.111 statisches System

Skizze 1



Als Versuchskörper wurden Einfeldplatten mit einer durch die vorhandenen Versuchsstände bedingten Stützweite des beheizten Innenfeldes von 2.20 m und mit einer Kragarmlänge von 1.10 m gewählt. Aufgrund der Stützweitenverhältnisse ergaben sich in Feldmitte die Momente und Querkräfte aus ständiger Last zu $M_g = 0$. Die auf den Kragarmen abgesetzten Einzellasten bewirkten im Innenfeld ein konstantes Moment M_p . M_p wurde so groß gewählt, daß es in Feldmitte vom Querschnitt ohne Druckbewehrung mit der vorgegebenen Betonrandspannung aufgenommen werden konnte. Die erforderliche Zugbewehrung wurde nach DIN 1045 für $\sigma_{zul} = 2,4 \text{ Mp/cm}^2$ ermittelt. Die höher beanspruchten Plattenbereiche erhielten unter Beibehaltung der Betonrandspannung eine Druckbewehrung.

2.112 Querschnittsabmessungen und Beanspruchungen

(hierzu Anlagen 1.1 - 1.4)

Es wurden 4 Versuchskörper mit den Flächenabmessungen $L \cdot B = 4,40 \cdot 1,50 \text{ m}^2$ untersucht.

Tabelle 1

Ver- suchs- körper	Platten- dicke d (cm)	ständige Last g (Mp/m ²)	Kragarm- Last P (Mp/m)	Moment in Feldmitte M_{zul} (Mpm/m)	Beton-Rand- spannung σ_b (kp/cm ²)	Stahl-Zug- spannung σ_e (kp/cm ²)
1.1	20	0,50	2,42	1,74	50	2400
2.1	20	0,50	6,77	4,88	100	2400
3.1	20	0,50	12,96	9,33	150	2400
5.1	14	0,35	3,22	2,32	100	2400

Betonüberdeckung der Stahleinlagen $\bar{u} = 1,5 \text{ cm}$

2.113 Baustoffe

Die Versuchskörper wurden aus einem Beton der Güteklasse B 225 hergestellt, der von einem Transportbetonwerk bezogen wurde. Er hatte folgende Zusammensetzung:

Betonsand	0 - 3	684 kg/m ³
"	3 - 7	266 kg/m ³
Betonkies	7 - 15	475 kg/m ³
"	15 - 30	475 kg/m ³
		<hr/>
Betonkiessand	0 - 30	1900 kg/m ³
Zement PZ 275		270 kg/m ³

Das planmäßige Wasser/Zement-Verhältnis W/Z betrug 0,65. Zur Erzielung einer gleichbleibenden Betongüte wurde beim Betonieren das Ausbreitmaß konstant gehalten.

Bei der Güteprüfung nach DIN 1048 ergab sich im Mittel aus 6 Würfeln eine Würfeldruckfestigkeit $W_{28} = 257 \text{ kp/cm}^2$.

Für die Zugbewehrung der Versuchsplatten wurden Rippen-torstahl IIIB und naturharter Rippenstahl IIIa und für die Druckbewehrung geschweißte Baustahlmatten IVb verwendet.

2.12 Beheizung

Über die tatsächlich zu erwartenden Temperaturbelastungen auf Schutzraumdecken durch Schuttmeilerbrände o.ä. lagen bei der Versuchsplanung keine Angaben vor. Daher wurde im Einvernehmen mit dem Auftraggeber von einer Modifizierung der Brandraum-Temperaturkurve abgesehen und die Einheits-temperaturkurve nach DIN 4102 für die Beheizung zugrunde-gelegt.

Damit wurde zugleich eine Verallgemeinerung der Versuchsergebnisse ermöglicht.

2.13 Messungen

Das Meßprogramm umfaßte folgende Aufgaben:

2.131 Messung der Brandraumtemperaturen mit Ni-CrNi-Thermoelementen.

2.132 Messung des Temperaturverlaufs über den Betonquerschnitt; die Fe-const-Elemente wurden bei den 20 cm dicken Platten in

0,2, 1, 3, 5, 10, 15, 20 cm

von Unterkante Platte angebracht und bei der 14 cm dicken Platte in

0,2, 1, 3, 5, 10, 14 cm von UK Platte.

2.133 Messung der Stahltemperatur der Zugbewehrung in Feldmitte mit Fe-const-Thermoelementen;

2.134 Messung der Stahldehnung der Zugbewehrung in Feldmitte durch Setzdehnungsmesser mit der Meßlänge $l = 200$ mm. Die Meßmarken aus Messing wurden vor dem Betonieren der Platten mit einem Zweikomponentenkleber an der Oberseite der Bewehrungsstäbe befestigt. Um sie von oben zugänglich zu erhalten, wurden durch Kunststoffhülsen Aussparungen im überdeckenden Beton hergestellt.

2.135 Messung der vertikalen Durchbiegung der Platten mit Hilfe feiner Stahldrähte, die von der jeweiligen Meßstelle zu Rollenmeßgeräten geführt wurden;

2.136 Messung der horizontalen Verschiebung der Kragarmenden unter Verwendung feiner Stahldrähte, die nahe der Ober- bzw. Unterkante der Platten angebracht wurden; Ablesung an Rollenmeßgeräten ;

2.137 Messung der gegenseitigen horizontalen Verschiebung von Plattenoberseite und Unterseite an den Kragarmenden mit der unter 2.136 beschriebenen Meßeinrichtung.

2.2 Versuche unter Normaltemperatur

2.21 Versuchskörper

Die Versuchskörper entsprachen genau den für die Brandversuche verwendeten.

2.22 Messungen

Das Programm sah folgende Messungen vor:

- a) Messung der Stahldehnung der Zugbewehrung in Feldmitte mit Hilfe von Setzdehnungsmessern und Dehnungsmeßstreifen;
- b) Messung der Betonranddehnung mit Dehnungsmeßstreifen;
- c) Messung der vertikalen Plattendurchbiegung.

3. Versuchsaufbau und -durchführung

3.1 Brandversuche

Der Versuchsaufbau ist auf den Anlagen 2.1 und 2.2. dargestellt.

3.11 Brandkammer und Beheizung

Die Versuchskörper wurden in einer Brandkammer mit den lichten Abmessungen $L = 4,00$ m, $B = 1,76$ m und $H = 1,38^5$ m untersucht. Die Beheizung nach der Einheitstemperaturkurve gemäß DIN 4102 erfolgte durch vier Ölbrenner unter Verwendung von Heizöl EL nach DIN 51 603. Je 2 Brenner, deren Flammenachsen senkrecht zur Plattenspannrichtung 0,67 m über dem Brandkammerboden verliefen, befanden sich an den gegenüberliegenden Schmalseiten der Kammer.

Die Flammenlänge betrug im allgemeinen 0,8 bis 1,0 m. Die Rauchgase wurden durch einen Abzug am Boden der Brandkammer abgesaugt. Die innere Ausmauerung der Brandraumwände und des Bodens bestand aus Hartschamotte bzw. Ytong. Oben war die Kammer mit vermörtelten Ytongplatten abgedeckt, über denen sich zu beiden Seiten des Prüfkörpers Meß- und Beobachtungsstege befanden.

3.12__Einbau_und_Belastung_der_Versuchsplatten.

Die Platten wurden so eingebaut, daß das 2,20 m weit gespannte Innenfeld auf 1,75 m Länge der Brandbeanspruchung ausgesetzt werden konnte. Die Auflager (Linienkipplager und Rollenlager) lagen außerhalb des beheizten Raumes und waren durch geeignete Maßnahmen vor jeglichem Temperaturangriff geschützt.

Auf den Kragarmenden wurde die äußere Last P durch hydraulische Pressen eingetragen, unter denen zur Lastverteilung Stahlträger angeordnet waren. Die vor Beginn des Brandversuches aufgebrachten planmäßigen Lasten (siehe Tab.1) wurden während des Versuchs konstant gehalten.

3.12__Messungen_während_des_Versuchs

Die Messungen wurden nach dem unter 2.13 aufgestellten Programm durchgeführt.

3.131 Messung der Brandraumtemperaturen siehe Anlagen 3.1 bis 3.4;

3.132 Messung des Temperaturverlaufs über dem Betonquerschnitt siehe Anlage 4.1 bis 4.4;

3.133 Messung der Stahltemperatur der Zugbewehrung siehe Anlage 5;

3.134 Messung der Stahldehnung der Zugbewehrung siehe Anlage 6. Die Messungen mußten vor Versuchsende eingestellt werden, da das Arbeiten auf den Versuchskörpern bei Bruchgefahr zu gefährlich wurde.

3.135 Messung der vertikalen Durchbiegung der Platten siehe Anlagen 7.1 bis 7.8;

3.136 Messung der horizontalen Verschiebung der Kragarmenden siehe Anlagen 8.1 bis 8.4.

3.137 Messung der gegenseitigen horizontalen Verschiebung von Plattenober- und unterseite siehe Anlage 8.1 bis 8.4.

3.14 Sonstige Beobachtungen während des Versuchs

Das Verhalten der Versuchskörper wurde während der Versuche laufend kontrolliert, insbesondere wurden Betonabplatzungen und Rissebildung beobachtet.

3.2 Versuche unter Normaltemperatur

Der Versuchsaufbau ist auf der Anlage 2.3 dargestellt.

3.21 Einbau und Belastung der Versuchsplatten

Die Versuchskörper wurden statisch bestimmt auf ein Linienkipplager und ein Rollenlager abgesetzt. Auf den Kragarmenden wurde die äußere Last P durch hydraulische Pressen eingetragen, unter denen zur Lastverteilung Stahlträger angeordnet waren. Die Last P wurde in Intervallen von rd. 1/10 der zu erwartenden Bruchlast bis zum Versagen des Querschnitts gesteigert, wobei vor jeder Erhöhung die Belastung bis auf die Vorlast abgesenkt wurde.

3.22 Messungen während des Versuchs

Die Messungen wurden nach dem unter 2.22 aufgestellten Programm durchgeführt.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Brandversuche

4.11 Versuchskörper 1.1

Der von Kompensographen registrierte Temperatur-Zeit-Verlauf über den Betonquerschnitt zeigt gegenüber den in früheren Versuchen gewonnenen umfangreichen Ergebnissen keine wesentlichen, d.h. außerhalb des üblichen Streubereichs liegenden Abweichungen. Das gleiche gilt für den Temperaturanstieg der Biegezugbewehrung.

Nach einer Beflammungsdauer von 4 Std. war unter der zulässigen Belastung kein Bruch abzusehen. Daher wurde der Brandversuch abgebrochen und anschließend die Kragarmlast zunächst bis auf $P = 3,2 \text{ Mp/m}$ gesteigert. Danach wurde entlastet und dann die Belastung erneut erhöht, bis der Bruch bei $P = 3,33 \text{ Mp/m}$ entsprechend $M_{P\text{Bruch}} = 2,40 \text{ Mpm/m}$ eintrat.

Die vertikale Durchbiegung nahm unter Brandeinwirkung zunächst relativ schnell entgegen der Lastdurchbiegung zu. Dann blieb sie bis zum Ende der Beflammung - nach 240 Min - nahezu konstant. Gegenläufige Durchbiegung trat bei der dann folgenden Laststeigerung ein, während bei Entlastung sodann die 240 Min.-Werte fast wieder erreicht wurden. Bei erneuter Belastung bis auf $P = 5 \text{ Mp}$ erfolgte rascher Anstieg der Vertikaldurchbiegung bis zum Versagen.

Horizontalverschiebung und Verdrehung der Kragarmenden wurden bis zum Ende der Beflammung gemessen. An beiden Enden trat eine Verlängerung unter Brandeinwirkung ein. Die gegenseitige horizontale Verschiebung von Plattenober- und -unterseite am Kragarmende (Verdrehung) entsprach der Biegelinie.

Abplatzungen des Betons in der Druckzone begannen etwa 10 Min. nach Versuchsbeginn. Sie blieben aber bis zum Versuchsende örtlich begrenzt und erreichten maximal eine zusammenhängende Fläche von $\sim 0,15 \text{ m}^2$. Am Ende des Versuchs lagen zwei Stäbe der Druckbewehrung auf $\sim 15 \text{ cm}$ Länge frei.

Querrisse an der Plattenoberseite zeigten sich von der 17. Minute an. Sie verliefen gleichmäßig in $\sim 20 \text{ cm}$ Abstand.

Im Bruchzustand zeigte die Platte zwei starke Querrisse in der Druckzone (Plattenmitte).

4.12--Versuchskörper_2.1

Der von Kompensographen registrierte Temperatur-Zeit-Verlauf über den Betonquerschnitt zeigt gegenüber den in früheren Versuchen gewonnenen umfangreichen Ergebnissen keine wesentlichen, d.h. außerhalb des üblichen Streubereichs liegenden

Abweichungen. Das gleiche gilt für den Temperaturanstieg der Biegezugbewehrung.

Die vertikale Durchbiegung nahm unter Brandeinwirkung zunächst relativ schnell entgegen der Lastdurchbiegung zu. Diese Tendenz wurde mit dem Auftreten der ersten größeren Abplatzungen gestört: bis ~ 140 Versuchsminuten wiesen sowohl Innenfeld als Kragarme nach unten gerichtete Durchbiegungen auf. Nach 140 Minuten bis zum Bruch (nach 243 Min.) wurde der Einfluß der Lastdurchbiegung überwiegend.

An den Kragarmenden wurden unter Brandeinwirkung bis ~ 140 Min. Verlängerungen festgestellt. Von diesem Zeitpunkt bis zum Versagen nahm die Verlängerung wieder ab. Die Verdrehung der Kragarmenden entsprach der Biegelinie.

Die ersten Abplatzungen in der Betondruckzone wurden nach 7 Min. beobachtet. Nach 11 Min. lag an einigen Stellen die Druckbewehrung frei, und nach 16 Min. war die fast gesamte Plattenfläche von Abplatzungen betroffen (hierzu Anl. 9.1) Quer-und Längsrisse an der Plattenoberseite bildeten sich von der 11. Minute an.

Im Bruchzustand zeigte die Platte Ausknickungen der Druckbewehrung.

4.13. Versuchskörper 3.1

Der von Kompensographen registrierte Temperatur-Zeit-Verlauf über den Betonquerschnitt zeigt gegenüber den in früheren Versuchen gewonnenen umfangreichen Ergebnissen keine wesentlichen, d.h. außerhalb des üblichen Streubereichs liegenden Abweichungen. Das gleiche gilt für den Temperaturanstieg der Biegezugbewehrung.

Die vertikale Durchbiegung nahm unter Brandeinwirkung zunächst entgegen der Lastdurchbiegung zu. Diese Tendenz wurde durch das Auftreten der ersten größeren Abplatzungen gestört: bis ~ 35 Versuchsminuten wiesen sowohl Kragarme

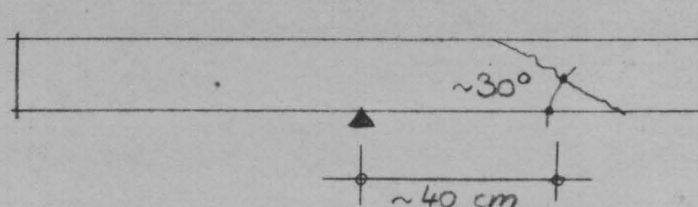
als Innenfeld nach unten gerichtete Durchbiegungen auf. Von diesem Zeitpunkt bis zum Bruch nach 142 Min. überwog der Einfluß der Lastdurchbiegung.

Am Kragarm, der dem festen Auflager zugeordnet war, wurden unter Brandeinwirkung Verkürzungen registriert, während am Kragarm des beweglichen Auflagers zunächst Verlängerungen bis ~ 20 Min. Versuchsdauer gemessen wurden. Anschließend ging die Verlängerung zurück, bis bei Versuchsende die Horizontalverschiebung annähernd $= 0$ war. Die Verdrehung der Endquerschnitte entsprach der Biegelinie.

Abplatzungen des Betons in der Druckzone setzten in der achten Versuchsminute ein; nach 19 Min. war die gesamte Druckbewehrung freigelegt und ohne Funktion. (Hierzu Anlage 9.2).

Haarrisse auf der Biegezugseite in ~ 10 cm Abstand traten bereits nach Aufbringen der äußeren Lasten P auf. Sie vergrößerten sich im Laufe des Brandversuchs.

Im Bruchzustand zeigte die Platte starke Verformungen und Ausknickungen der Druckbewehrung. Außerdem waren Schrägrisse etwa 40 cm vor beiden Auflagern festzustellen.



4.14 Versuchskörper 5.1

Der von Kompensographen registrierte Temperatur-Zeit-Verlauf über den Betonquerschnitt zeigt gegenüber den in früheren Versuchen gewonnenen umfangreichen Ergebnissen keine wesentlichen, d.h. außerhalb des üblichen Streubereichs liegenden Abweichungen. Das gleiche gilt für den Temperaturanstieg der Biegezugbewehrung.

Die vertikale Durchbiegung nahm unter Brandeinwirkung zunächst relativ schnell entgegen der Lastdurchbiegung zu. Diese Tendenz wurde beim Auftreten der ersten größeren Abplatzungen gestört: bis ~ 50 Versuchsminuten wiesen sowohl Innenfeld als Kragarme nach unten gerichtete Durchbiegungen auf. Danach bis zum Bruch nach 142 Min nahm der Einfluß der Lastdurchbiegung zu.

An den Kragarmenden wurden unter Brandeinwirkung bis ~ 90 Min. Verlängerungen festgestellt. Von diesem Zeitpunkt bis zum Versagen ging die Verlängerung annähernd bis gegen 0 zurück. Die Verdrehung der Kragarmenden entsprach der Biegelinie.

Abplatzungen der Betondruckzone begannen nach 5 Versuchsminuten. Nach 13 Min. war fast die gesamte Druckbewehrung durch Abplatzungen freigelegt. (Hierzu Anlage 9.3).

Querrisse auf der Biegezugseite im Abstand von ~ 10 cm bildeten sich von der 10. Minute an.

Im Bruchzustand wies die Platte Ausknickungen der Druckbewehrung auf.

4.2 Versuche unter Normaltemperatur

Die Versuchsergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle

Versuchskörper	Moment in Feldmitte		Kragarmlast P_{Bruch} Mp/m	Moment in Feldmitte		Bruchursache
	M_{zul}	Mpm/m		M_{Bruch}	Mpm/m	
1,2	1,39		4,00	4,00		$\sigma_e > \sigma_s$
2,2	4,27		10,00	10,00		$\sigma_e > \sigma_s$
3,2	8,57		15,34	15,34		$\sigma_e > \sigma_s$
5,2	1,87		4,67	4,67		$\sigma_e > \sigma_s$

5. Diskussion der Ergebnisse

Entsprechend der kleinen Zahl und den begrenzten technischen Möglichkeiten bei der Durchführung ist die Aussagekraft der Versuche beschränkt. Unter dieser Voraussetzung können aus den Versuchsergebnissen folgende Schlüsse gezogen werden:

- 1) Im Plattenquerschnitt baut sich bei Brandbeanspruchung ein vom Temperaturverlauf über den Querschnitt abhängiger Spannungszustand auf, der bei Überlagerung mit dem Lastspannungszustand in den vorliegenden Fällen eine Erhöhung der Biegedruckbeanspruchung hervorruft.
- 2) Eine Überbeanspruchung der Druckzone führt zu Abplatzungen am Druckrand. Mit den Abplatzungen ist eine Umlagerung des Spannungszustandes verbunden.
- 3) Unter den gegebenen Bedingungen sind Abplatzungen gering und unbedeutend, wenn die rechnerischen Biegedruckspannungen im Gebrauchszustand in der Größenordnung von $\sigma_b = 50 \text{ kp/cm}^2$ liegen.
- 4) Mit wachsenden rechnerischen Biegedruckspannungen im Gebrauchszustand nimmt das Ausmaß der Abplatzungen zu.
- 5) Abplatzungen in der Biegedruckzone führen unter den gegebenen Bedingungen nicht zu plötzlichem Versagen des Konstruktionselementes, vielmehr kündigt sich der Bruch durch zunehmende Verformungsgeschwindigkeit und Rißbildung im Zugbereich an.
- 6) Der Bruch selbst ist als Versagen der infolge Abplatzungen geschwächten, überlasteten Biegedruckzone aufzufassen.
- 7) Druckbewehrung ist, sofern großflächige und die Bewehrung freilegende Abplatzungen zu erwarten sind, für die Sicherung der Biegedruckzone wertlos.

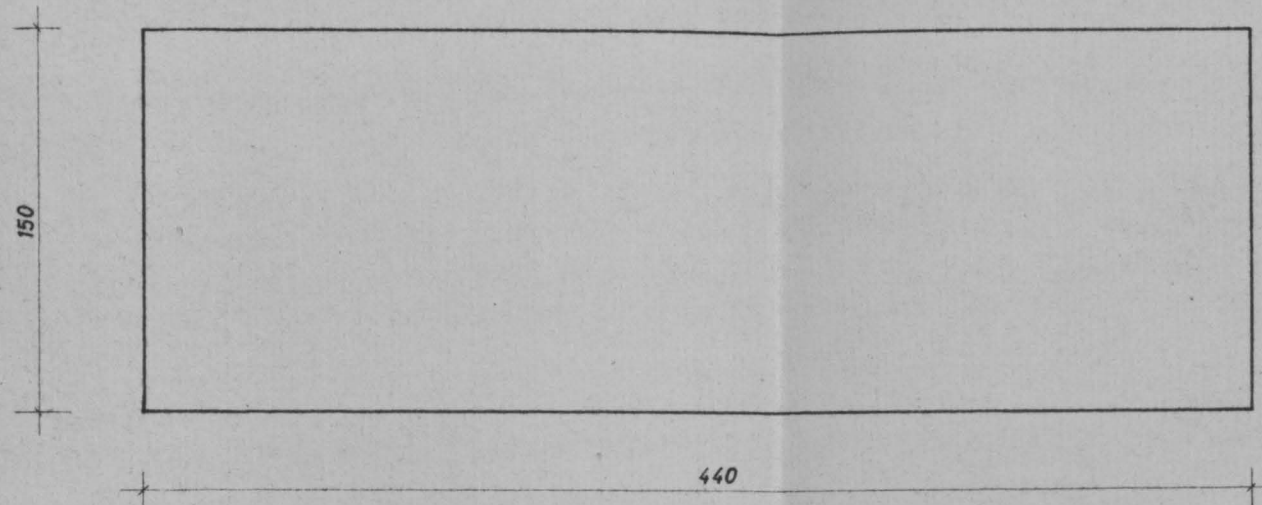
Es erscheint angebracht, Ergänzungsversuche durchzuführen, bei denen durch geeignete Versuchsanordnung der störende Einfluß einer Druckbewehrung ausgeschaltet wird. Die Parameter Betondruckspannung, Plattendicke und ggf. Betongüte sollten weiter variiert und ihre Einflüsse differenzierter untersucht werden.

Verzeichnis der Anlagen

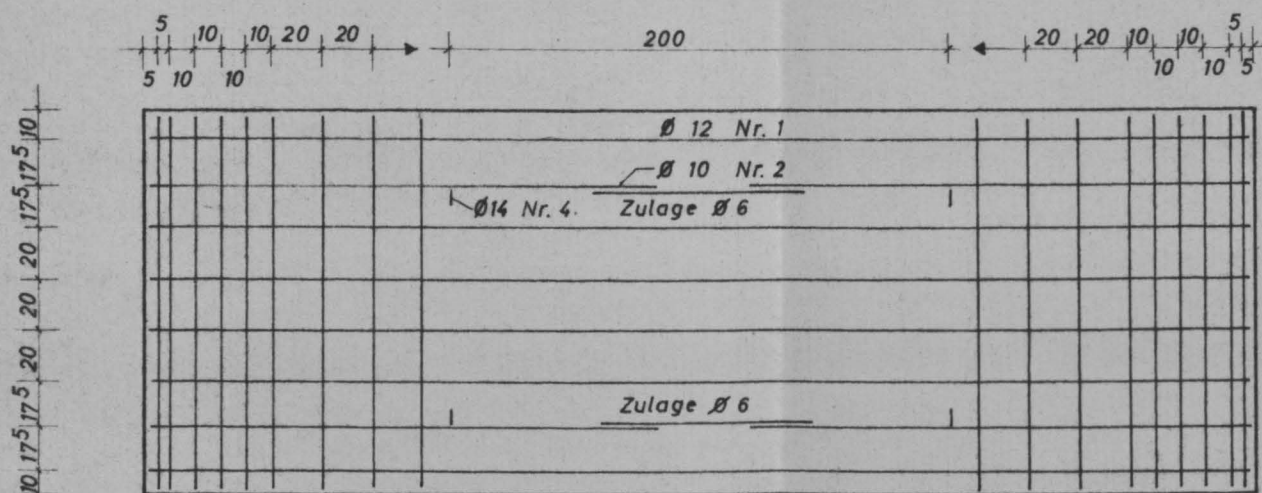
Anlage	1.1	Konstruktionsplan	Versuchskörper	1.1
	1.2		"	2.1
	1.3		"	3.1
	1.4		"	5.1
	2.1	Versuchsaufbau		
	2.2	"		
	2.3	"		
	3.1	Brandraumtemperatur	Versuch	1.1
	3.2	"	"	2.1
	3.3	"	"	3.1
	3.4	"	"	5.1
	4.1	Querschnittstemperaturen	"	1.1
	4.2	"	"	2.1
	4.3	"	"	3.1
	4.4	"	"	5.1
	5	Stahltemperaturen		
	6	Stahldehnungen		
	7.1	Vertikaldurchbiegungen	"	1.1
	7.2	"	"	1.1
	7.3	"	"	2.1
	7.4	"	"	2.1
	7.5	"	"	3.1
	7.6	"	"	3.1
	7.7	"	"	5.1
	7.8	"	"	5.1
	8.1	Horizontalverschiebungen	"	1.1
	8.2	"	"	2.1
	8.3	"	"	3.1
	8.4	"	"	5.1
	9.1	Tiefe der Abplatzungen	"	2.1
	9.2	"	"	3.1
	9.3	"	"	5.1

Verzeichnis der Bilder

- Bild 1 Versuchsaufbau Brandversuche
- 2 " Versuche unter Normaltemperatur
- 3 Versuchskörper 1.1 nach dem Brandversuch;
Plattenunterseite
- 4 wie Bild 3, Detail
- 5 Versuchskörper 1.1 nach dem Brandversuch,
Plattenoberseite
- 6 Versuchskörper 2.1 nach dem Brandversuch,
Plattenunterseite
- 7 Versuchskörper 2.1 nach dem Brandversuch,
Plattenoberseite
- 8 Versuchskörper 3.1 nach dem Brandversuch,
Plattenunterseite
- 9 wie Bild 8
- 10 Versuchskörper 3.1 nach dem Brandversuch,
Plattenoberseite
- 11 Versuchskörper 5.1 nach dem Brandversuch,
Plattenunterseite
- 12 Versuchskörper 5.1 nach dem Brandversuch,
Plattenoberseite



Schalungsmaße

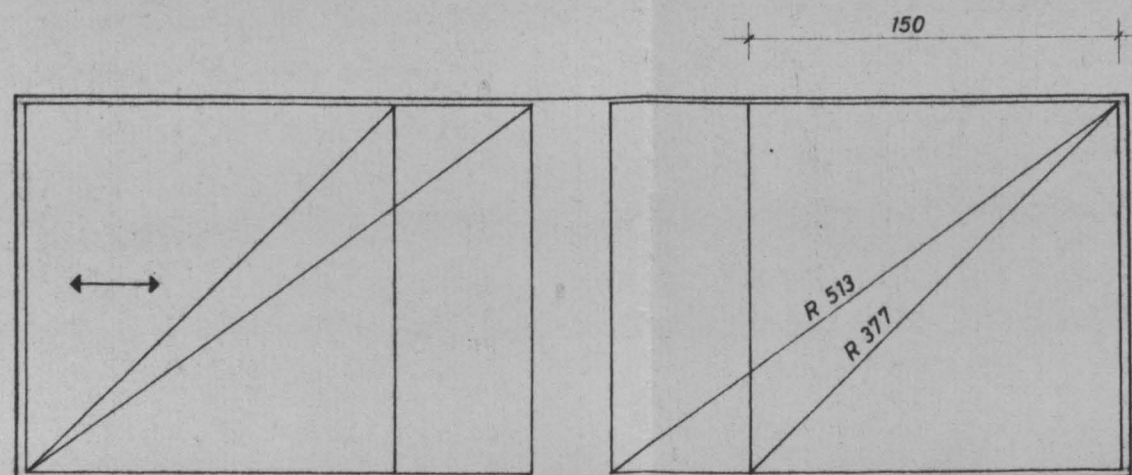


① 6 Ø12 L = 4,35 m

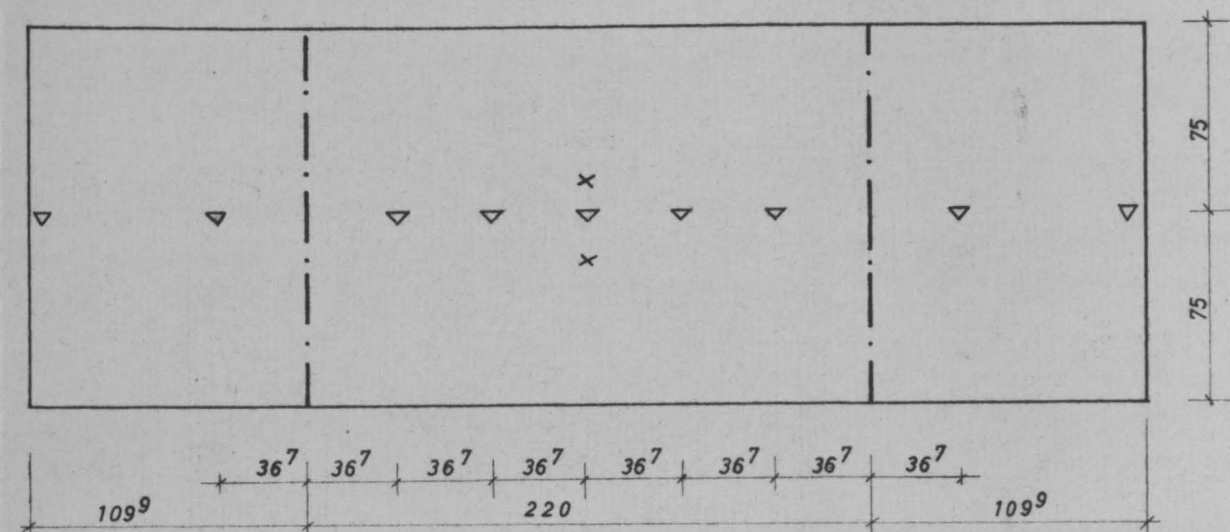
② 2 Ø10 L = 2,00 m

③ 2 Ø10 L = 2,00 m

obere Bewehrung



untere Bewehrung

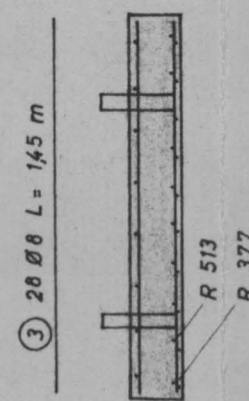
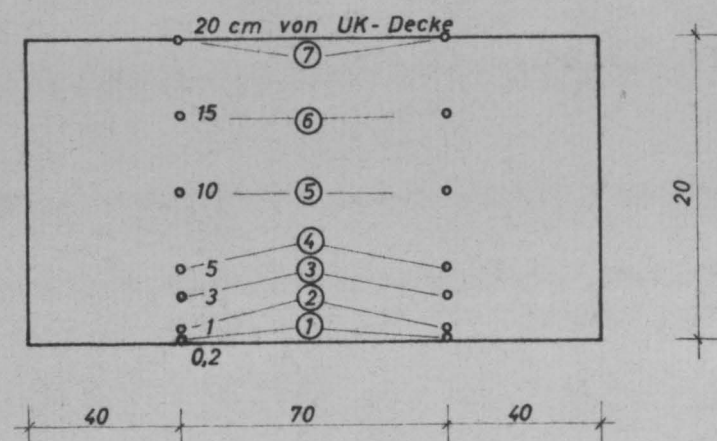


▽ w - Meßstellenanordnung

X ε - Meßstellenanordnung (Setzdehnmessner)

— Auflagerlinie

U - Meßstellenanordnung im Querschnitt (ohne Maßstab)



④ 4 Ø14 L = 80 cm
STI

⑤ 2 R 513 1,45 x 2,05 m²

⑥ 2 R 377 1,45 x 1,50 m²

Baustoffe: B 225

Betonüberdeckung 1,5 cm

ST III a

BSTG - Lagermatten

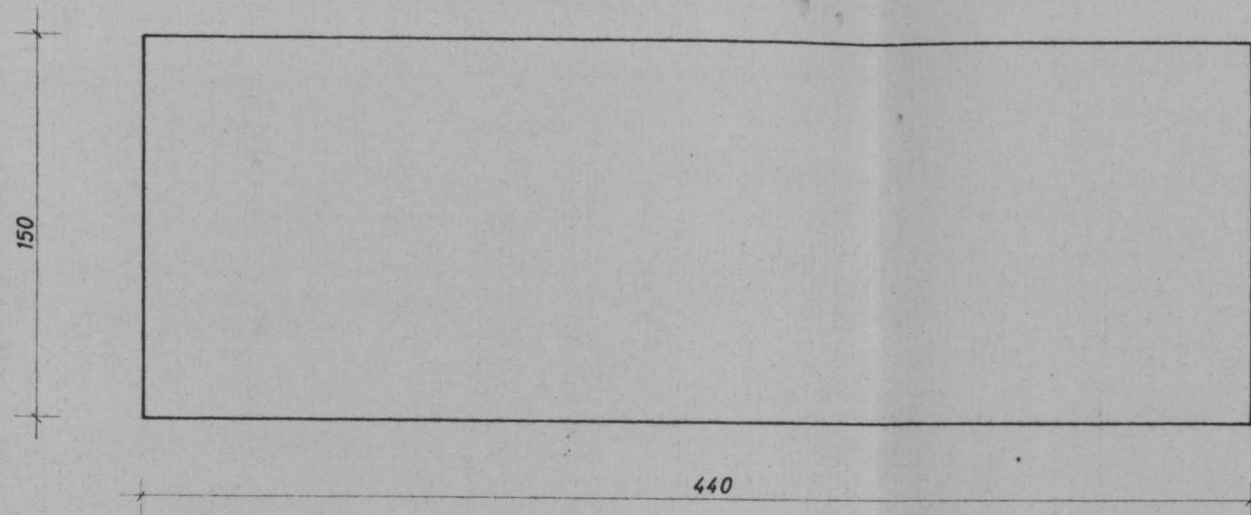
M.: 1:30 Maße in cm

Versuchskörper 1.1

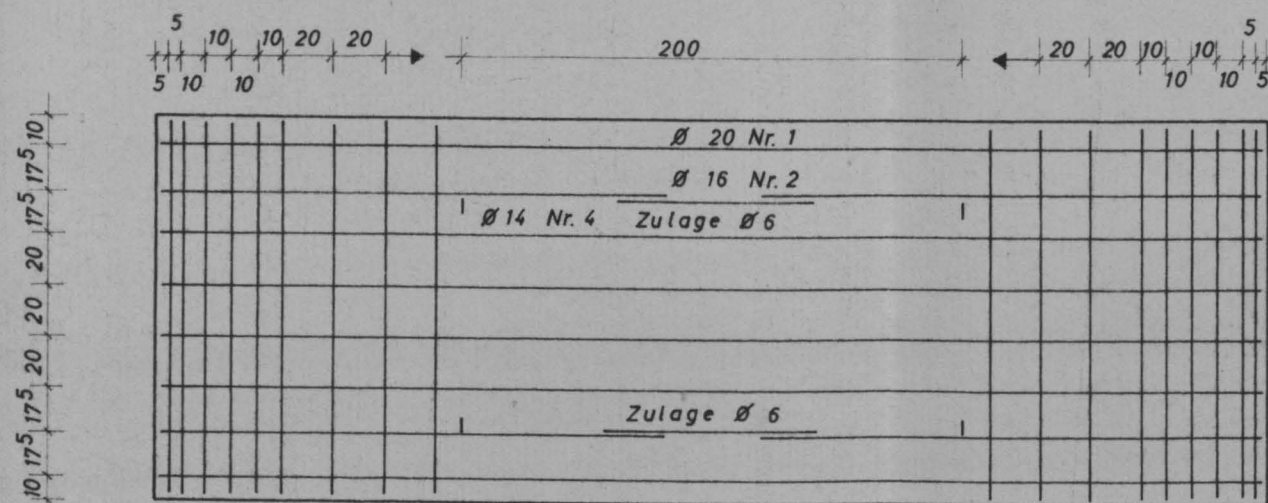
Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 1.1



Schalungsmaße

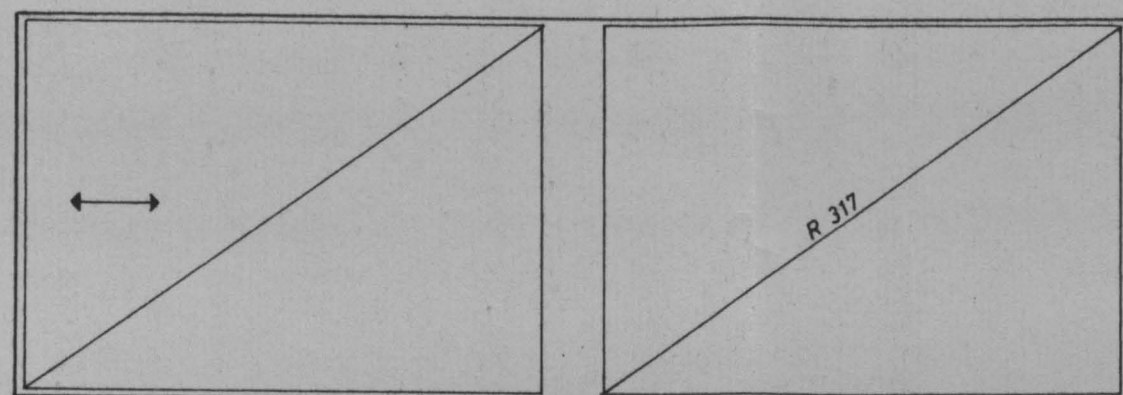


① 6 Ø 20 L=4,35m

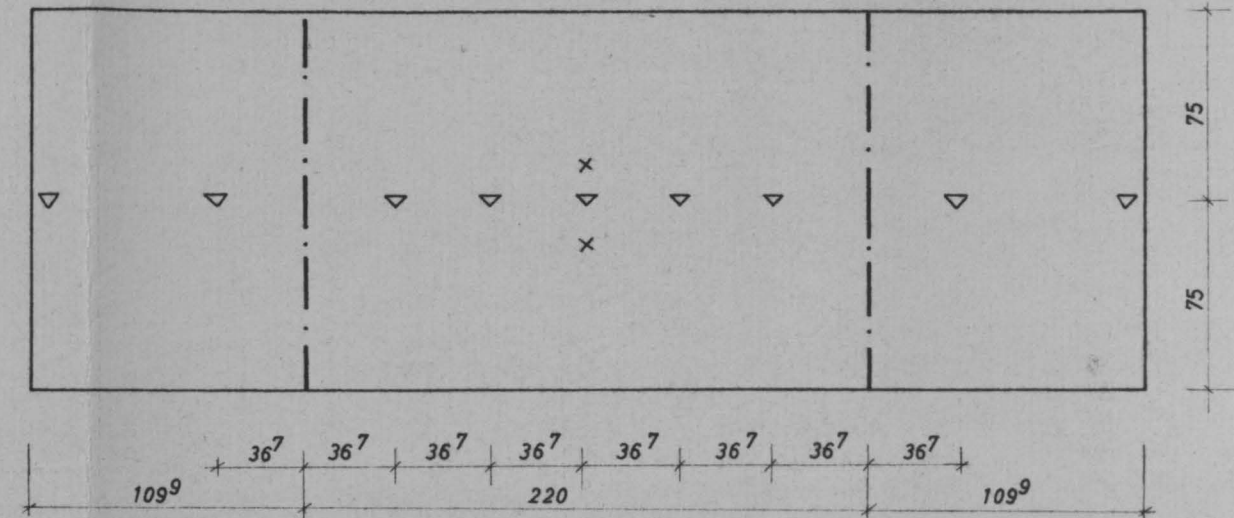
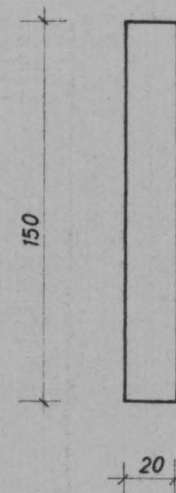
② 2 Ø 16 L= 2,00m

② 2 Ø 16 L= 2,00m

obere Bewehrung



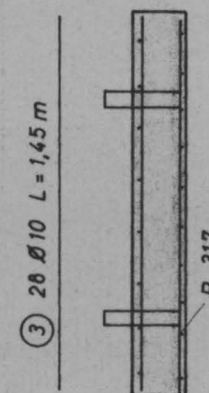
untere Bewehrung



▽ w - Meßstellenanordnung

X ε - Meßstellenanordnung (Setzdehnmessner)

— Auflagerlinie

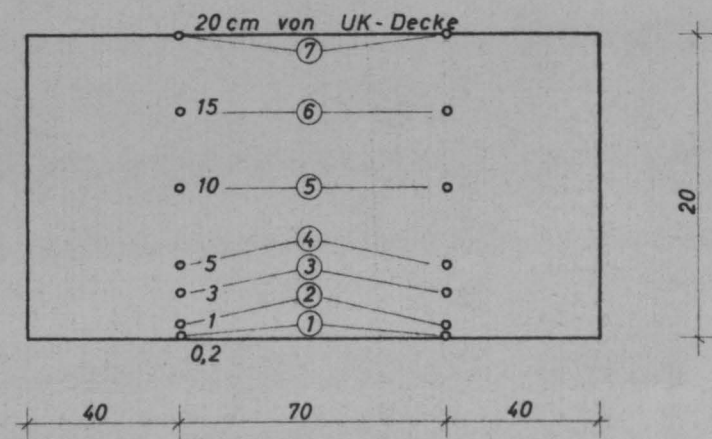


③ 20 Ø 10 L=1,45 m

④ 4 Ø 14 L= 80 cm ST I

⑤ 2 R 317 1,45 x 2,05 m²

∩ - Meßstellenanordnung im Querschnitt (ohne Maßstab)



Baustoffe: B 225

Betonüberdeckung 1,5 cm

ST IIIa

BSTG - Lagermatten

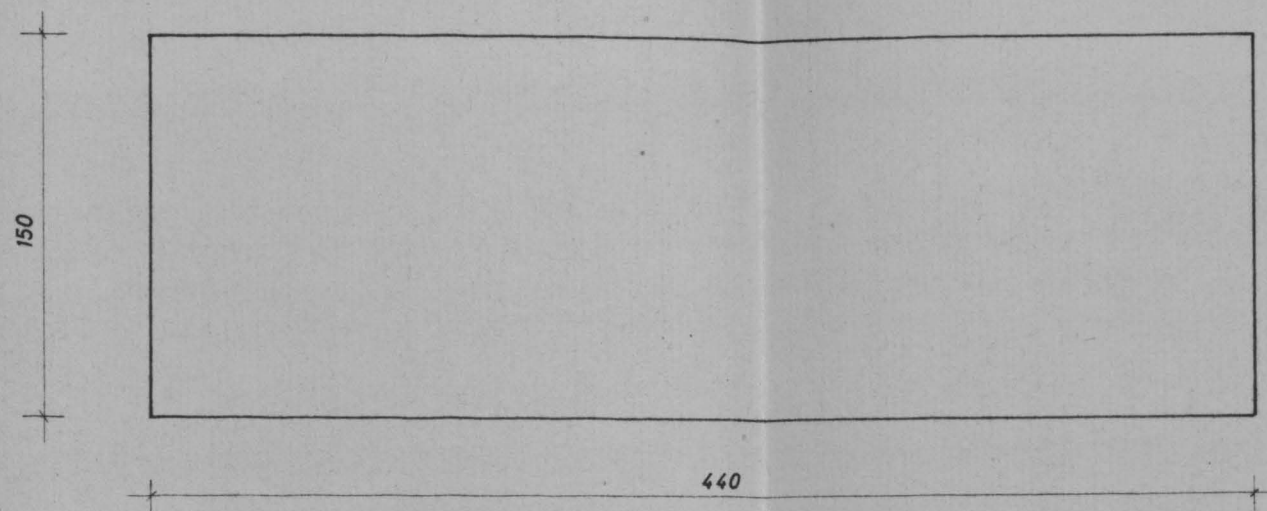
M.: 1:30 Maße in cm

Versuchskörper 2.1

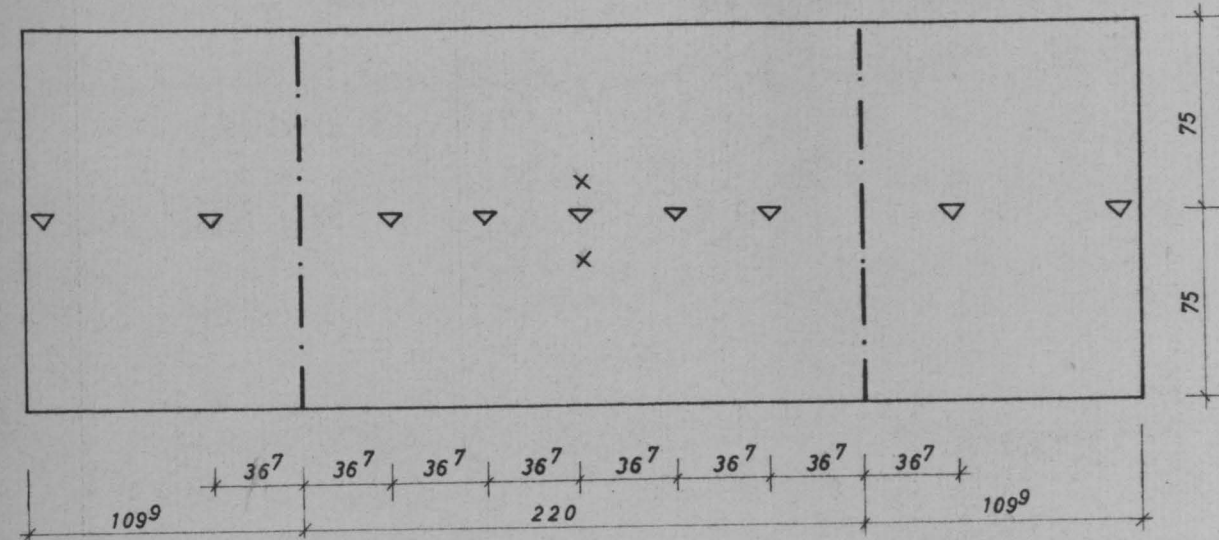
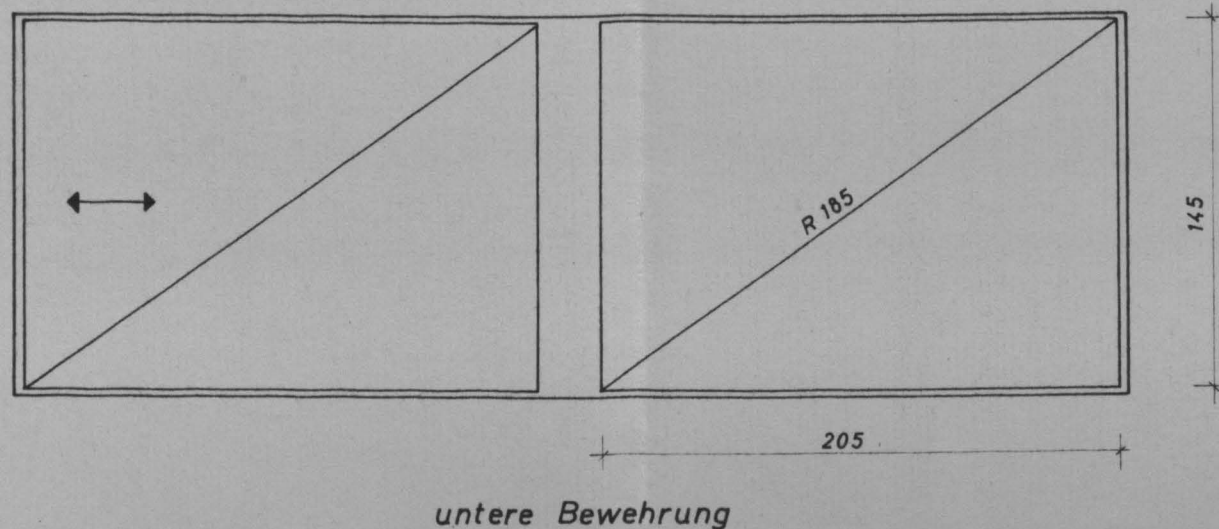
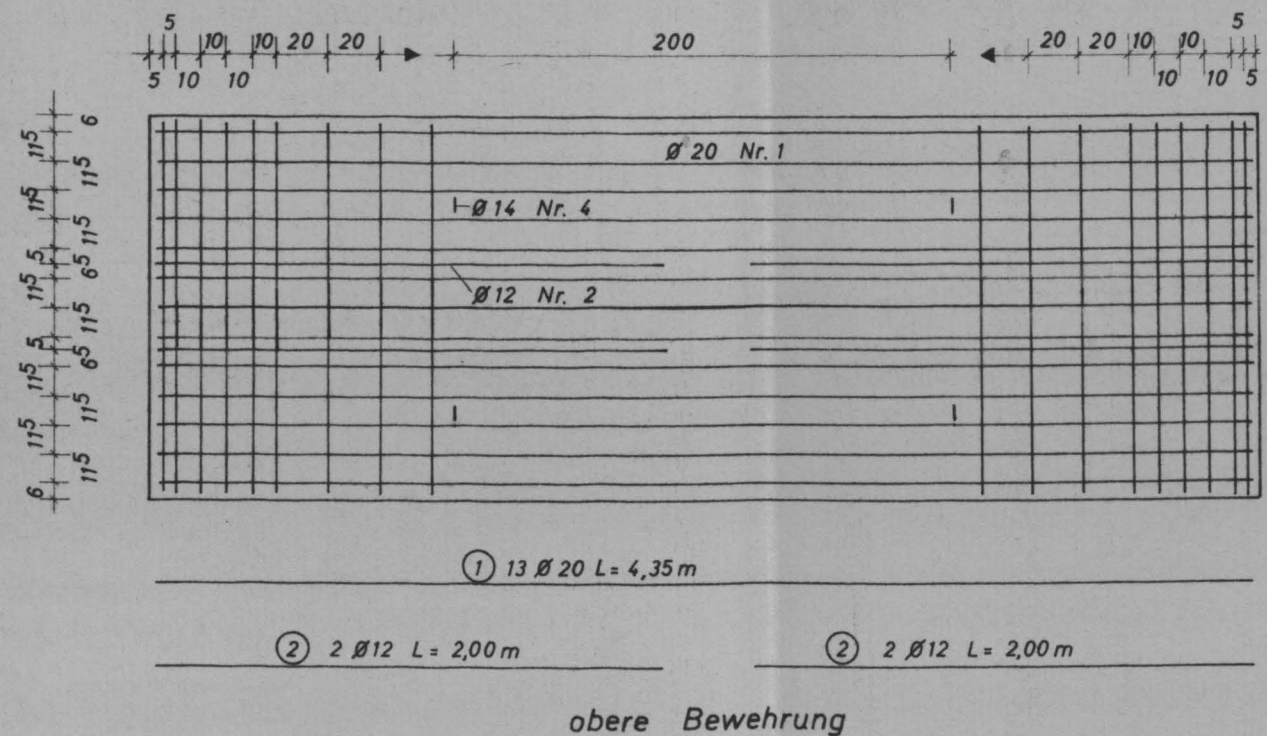
Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

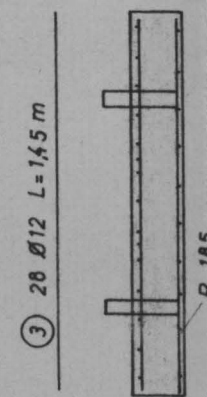
Anlage 1.2



Schalungsmaße

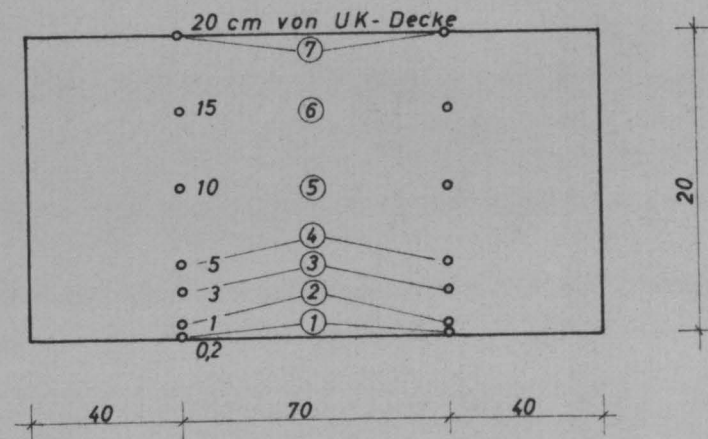


▽ w - Meßstellenanordnung
 X E - Meßstellenanordnung (Setzdehnungsmesser)
 --- Auflagerlinie



- ③ 20 Ø 12 L = 1,45 m
- ④ 4 Ø 14 L = 80 cm STI
- ⑤ 2 R 185 1,45 x 2,05 m²

↗ - Meßstellenanordnung im Querschnitt (ohne Maßstab)



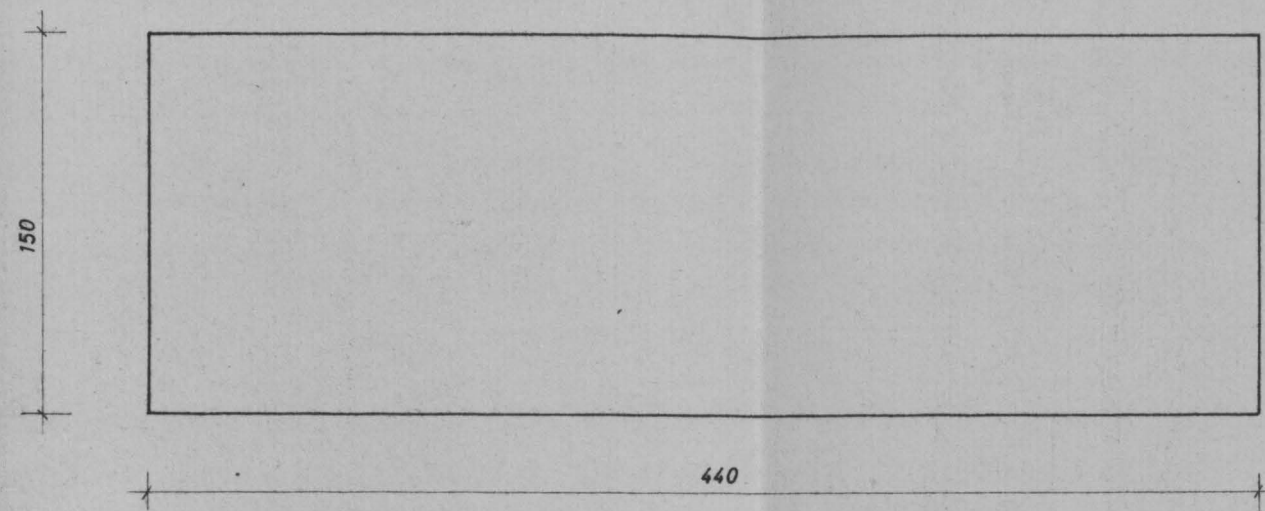
Baustoffe: B 225
 ST IIIa
 BSTG - Lagermatten
 M.: 1:30 Maße in cm
 Betonüberdeckung 1,5 cm

Versuchskörper 3.1

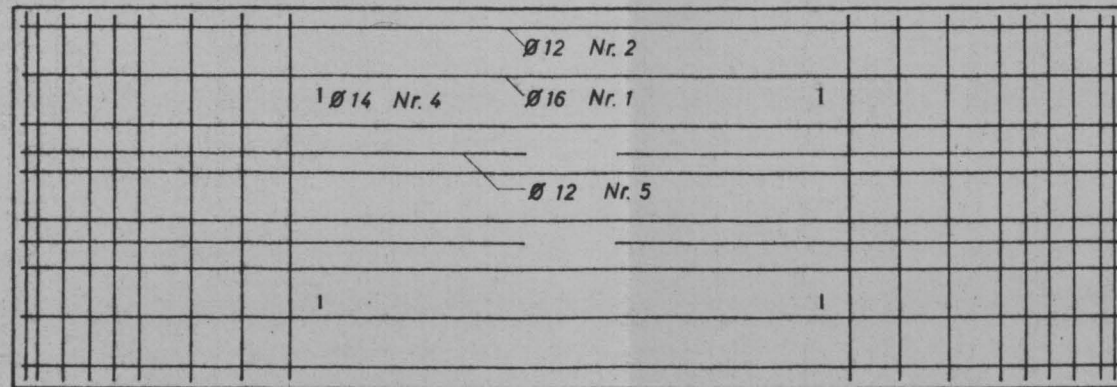
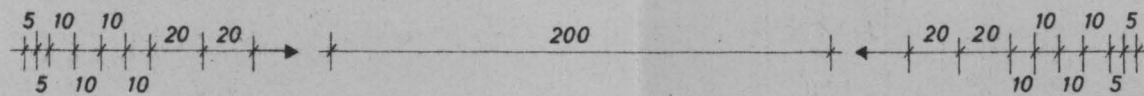
Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
 unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 1.3



Schalungsmaße



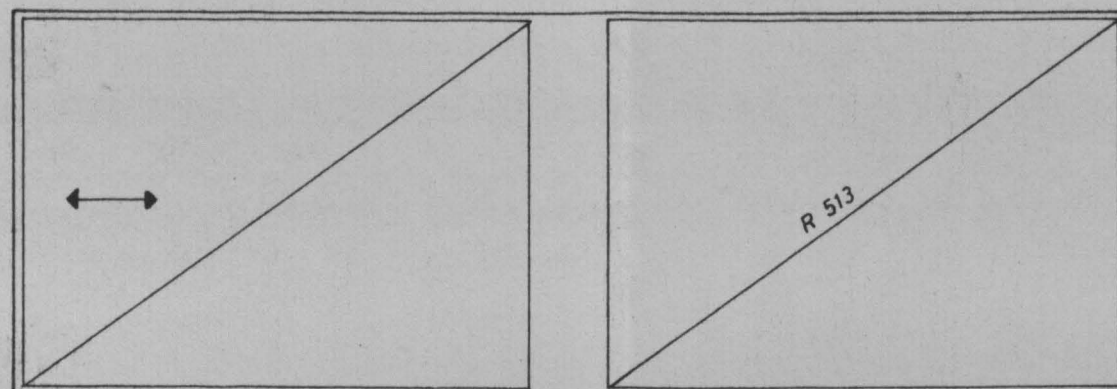
① 6 Ø 16 L = 4,35 m

② 2 Ø 12 L = 4,35 m

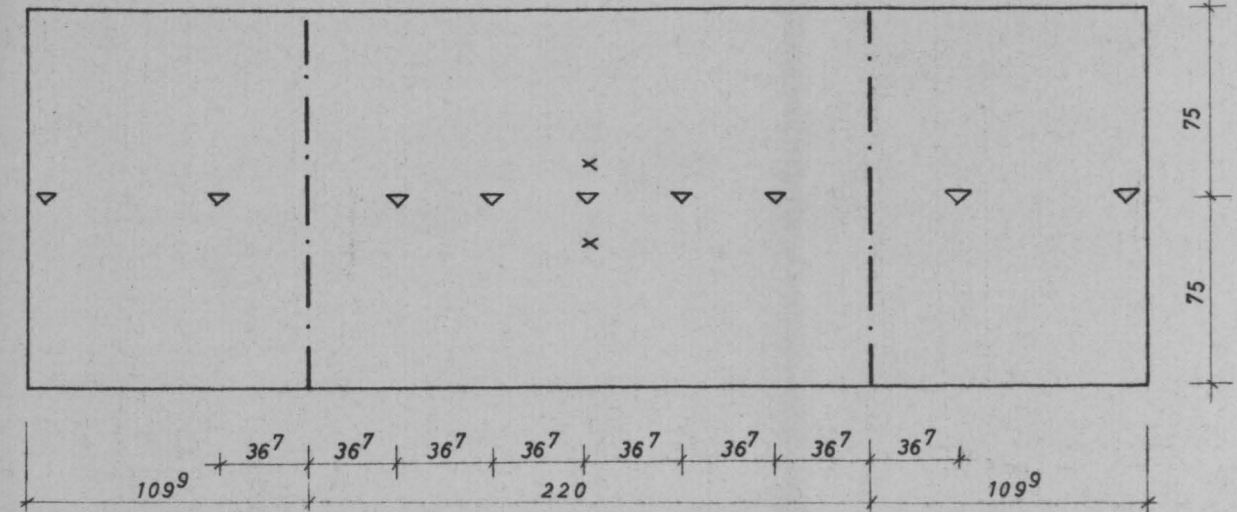
⑤ 2 Ø 12 L = 2,00 m

⑤ 2 Ø 12 L = 2,00 m

obere Bewehrung



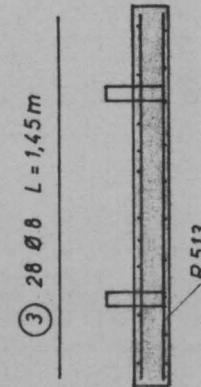
untere Bewehrung



▽ w - Meßstellenanordnung

x ε - Meßstellenanordnung (Setzdehnungsmesser)

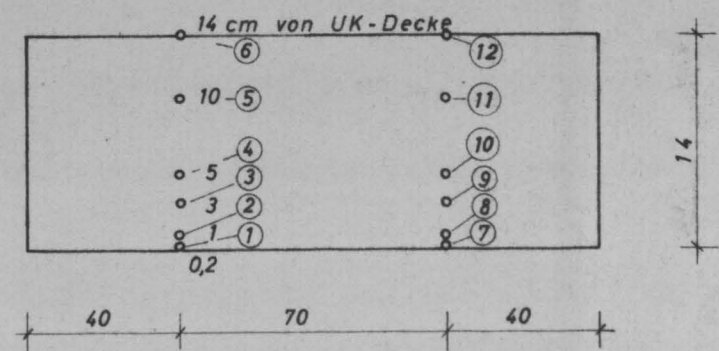
— — — Auflagerlinie



④ 4 Ø 14 L = 80 cm

⑥ 2 R 513 1,45 x 2,05 m²

⌋ - Meßstellenanordnung im Querschnitt (ohne Maßstab)



Baustoffe: B 225

Betonüberdeckung 1,5 cm

ST IIIa

BSTG - Lagermatten

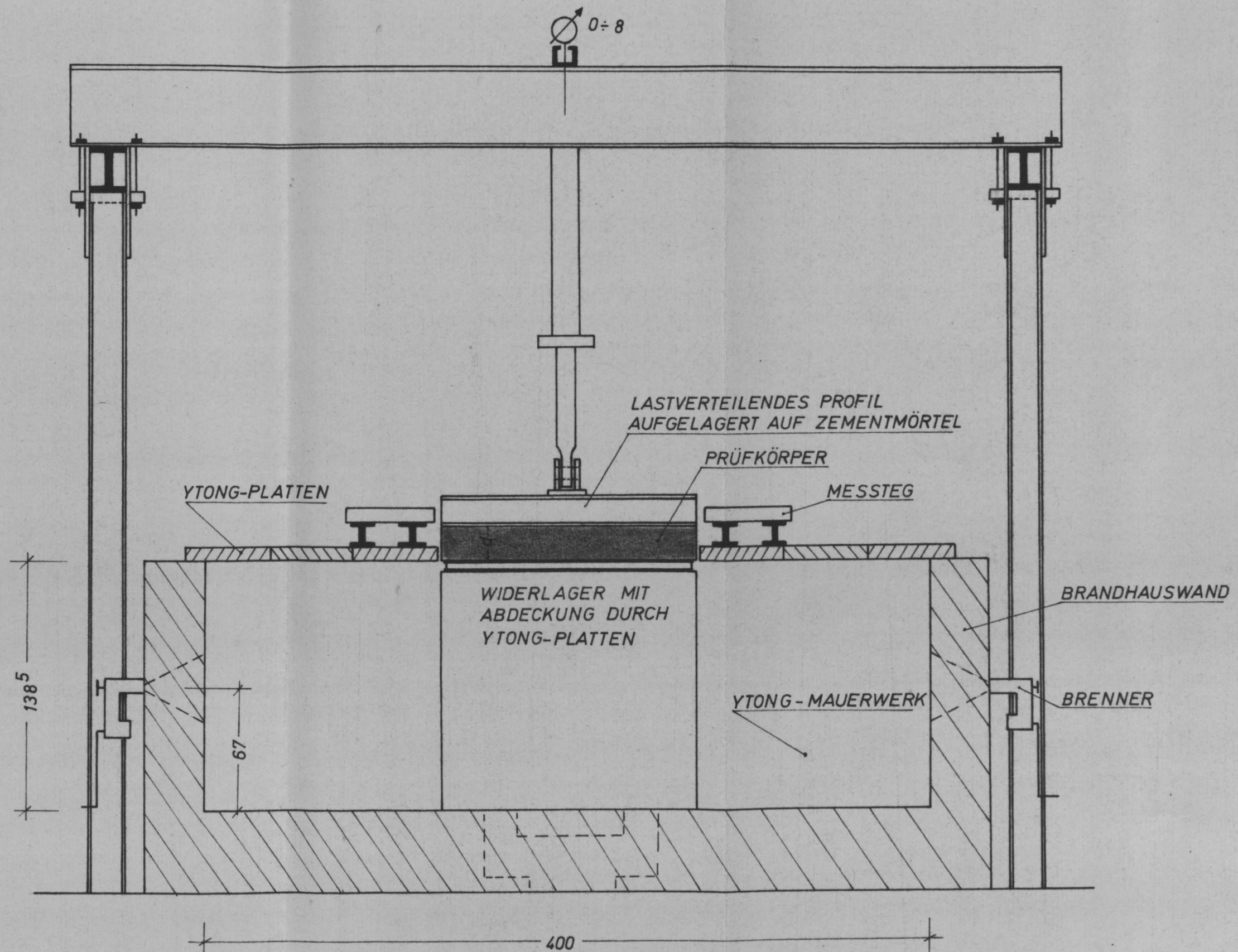
M.: 1:30 Maße in cm

Versuchskörper 5.1

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 1.4



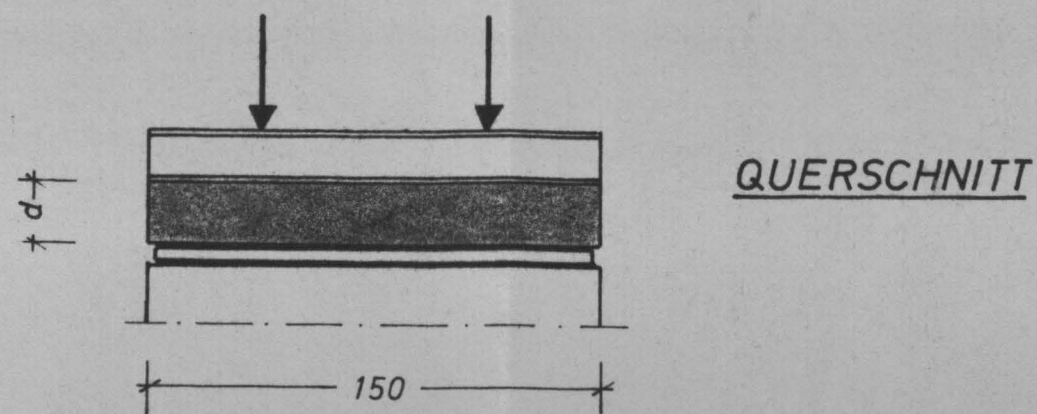
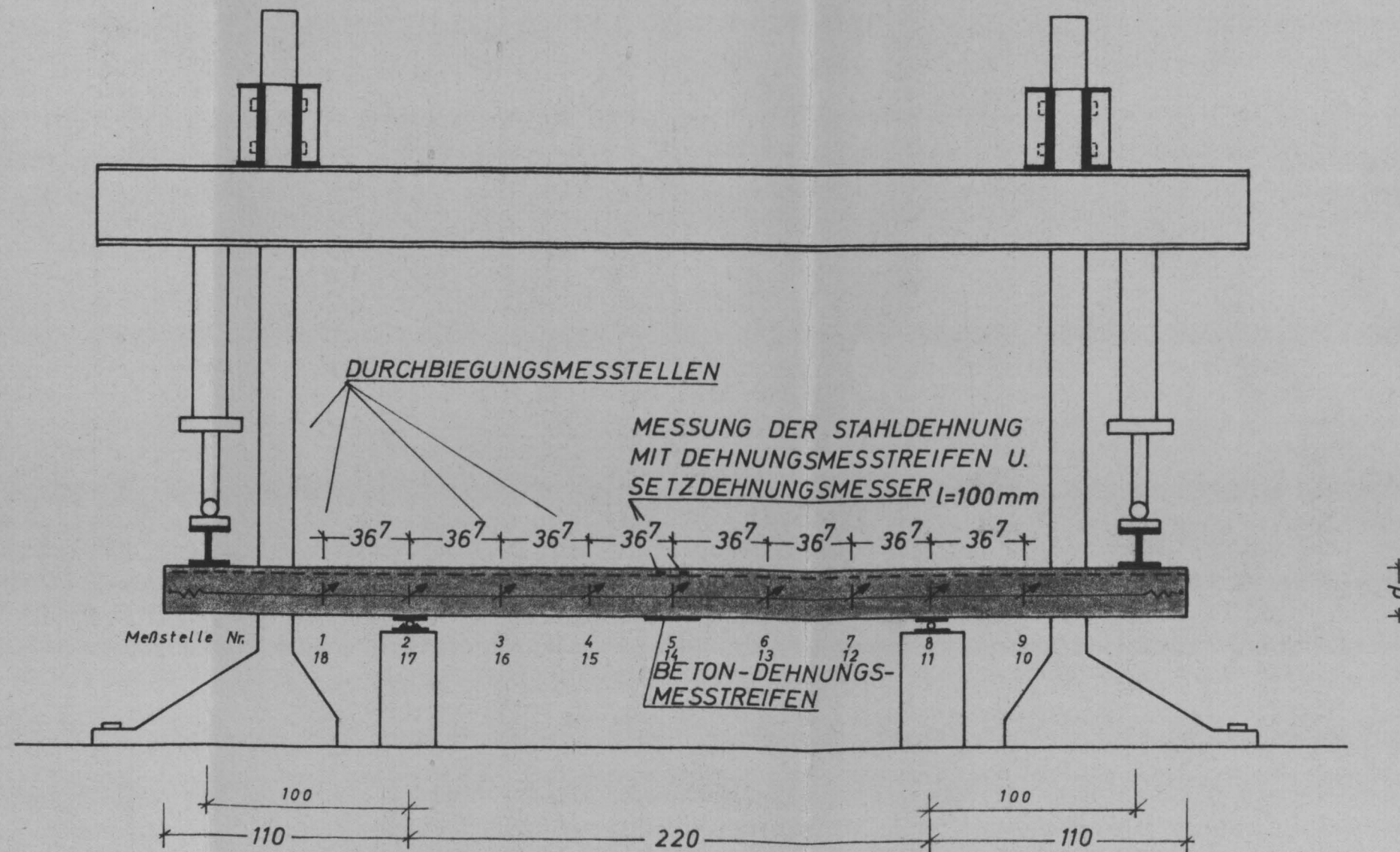
VERSUCHSANORDNUNG IM QUERSCHNITT

**Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung**

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 2.2

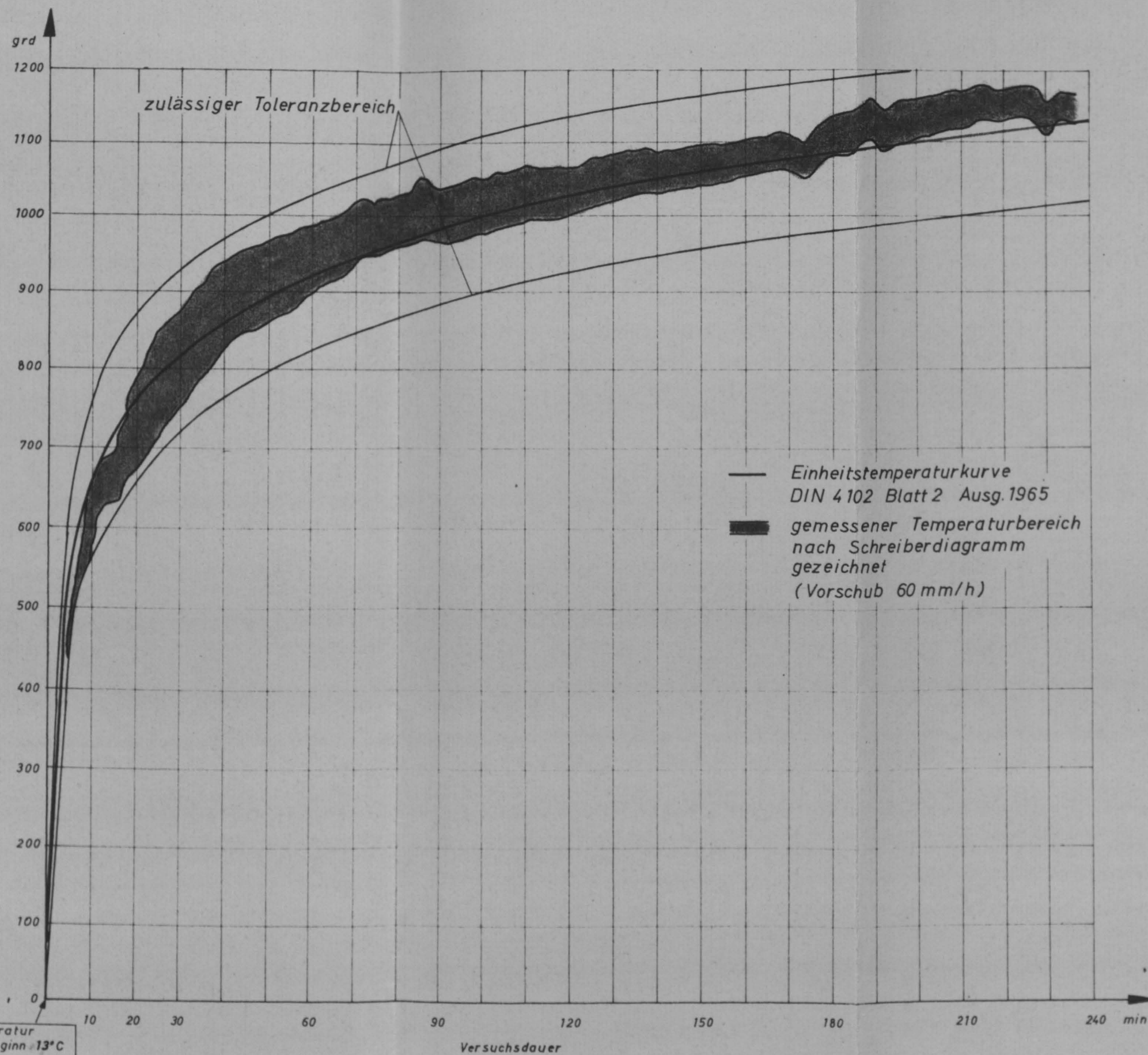
VERSUCHSANORDNUNG IM LÄNGSSCHNITT



Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 2.3

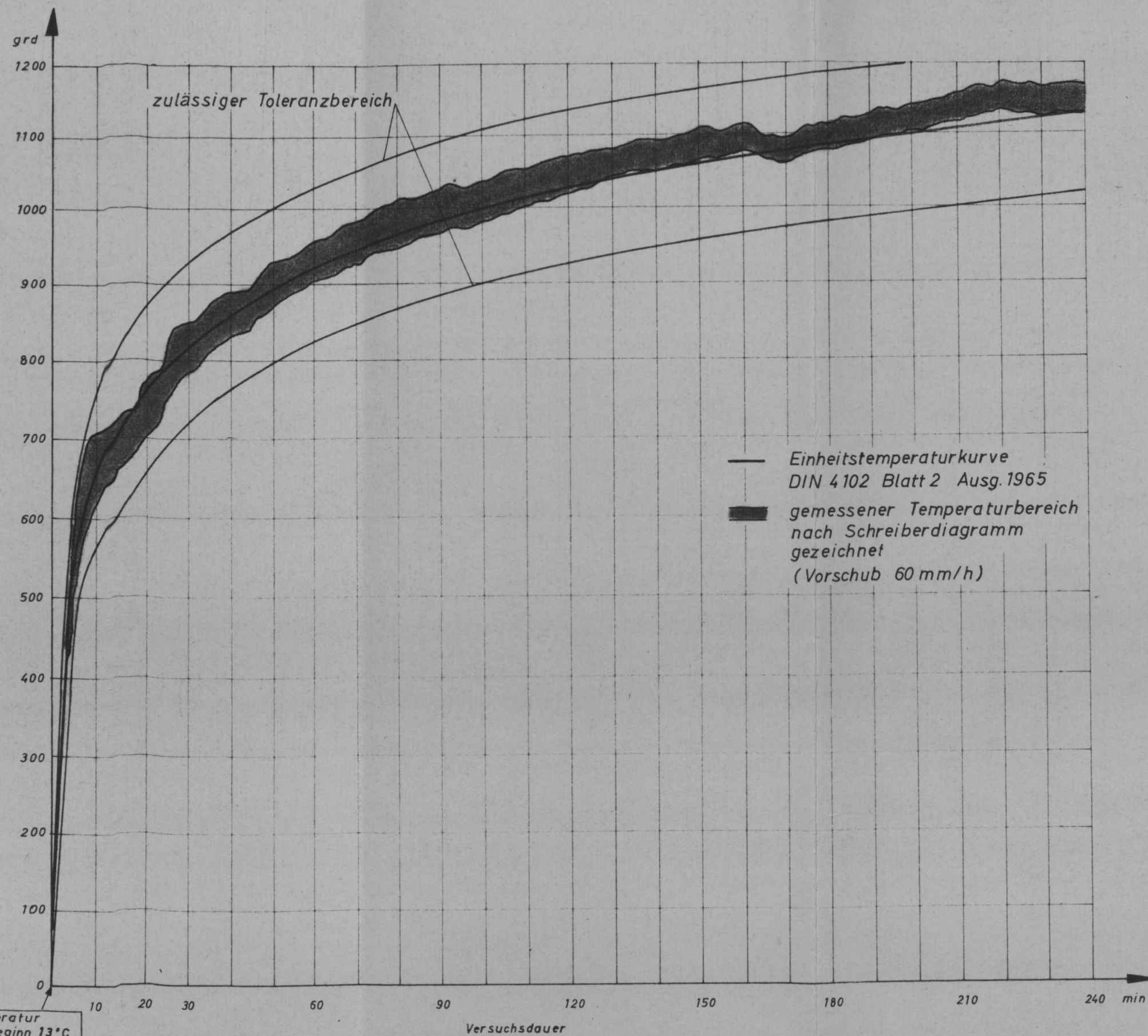


Temperaturen im Brandraum

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 3.1



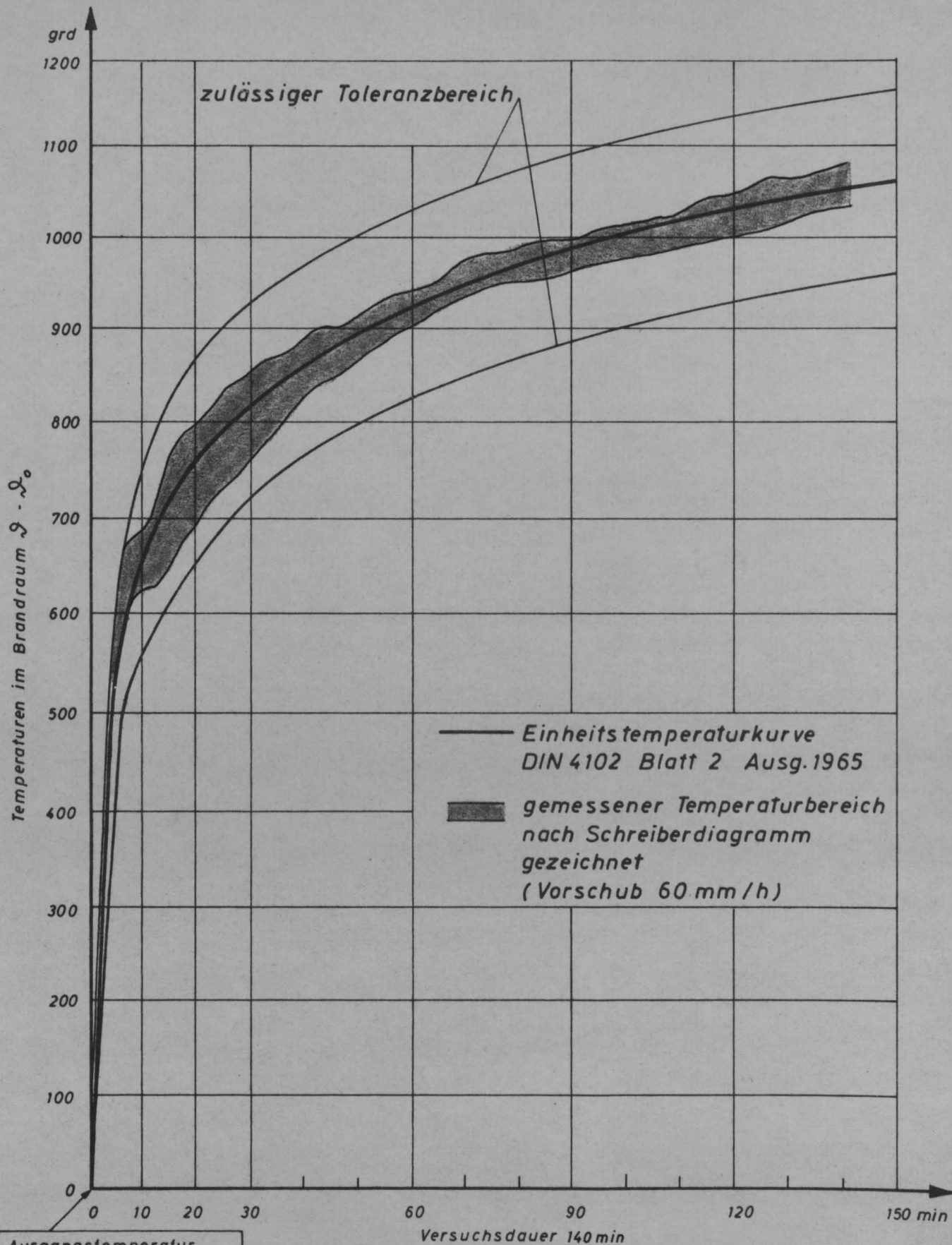
Versuchskörper 2.1

Temperaturen im Brandraum

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 3.2



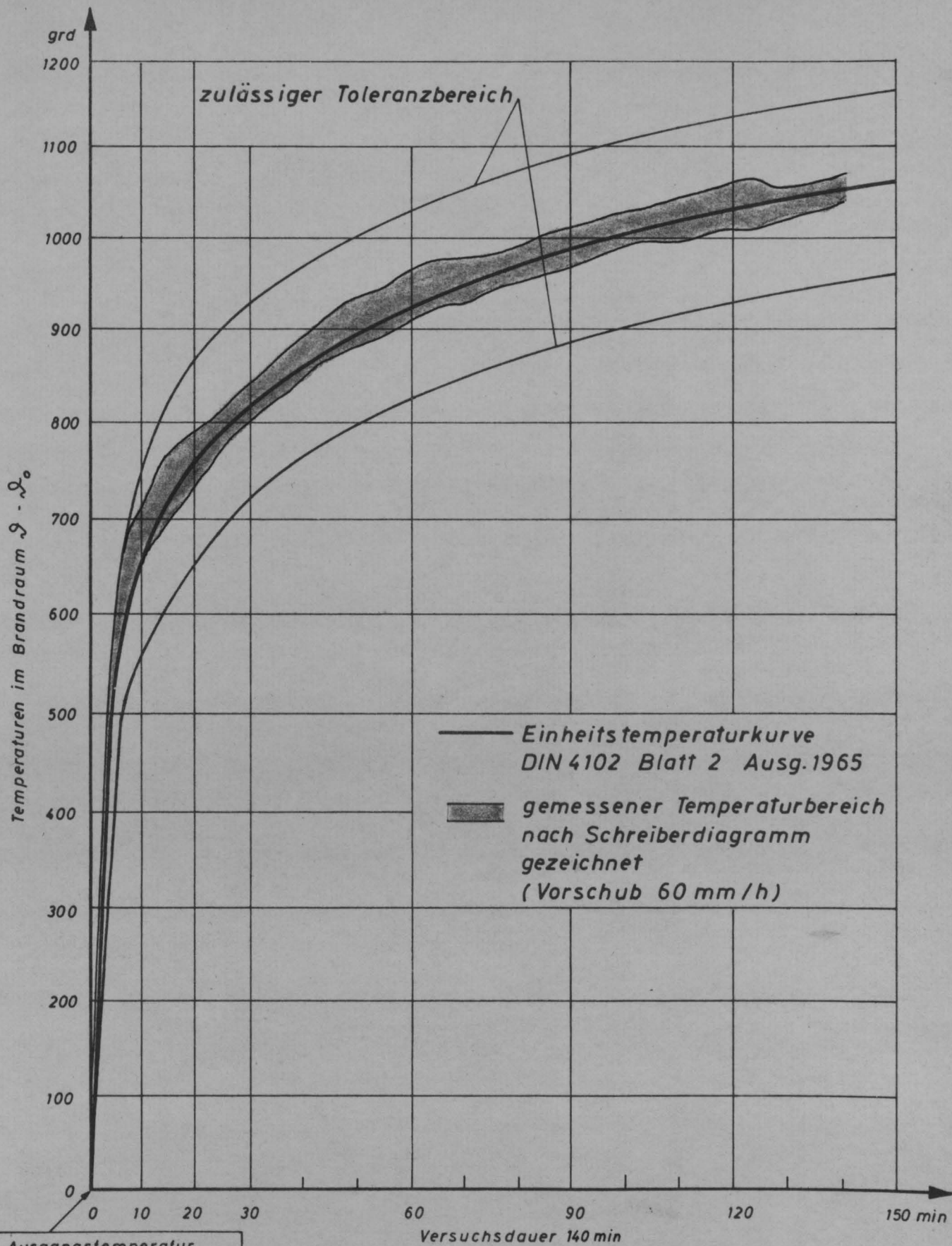
Versuchskörper 3.1

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Anlage 3.3

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig

Öffentliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen



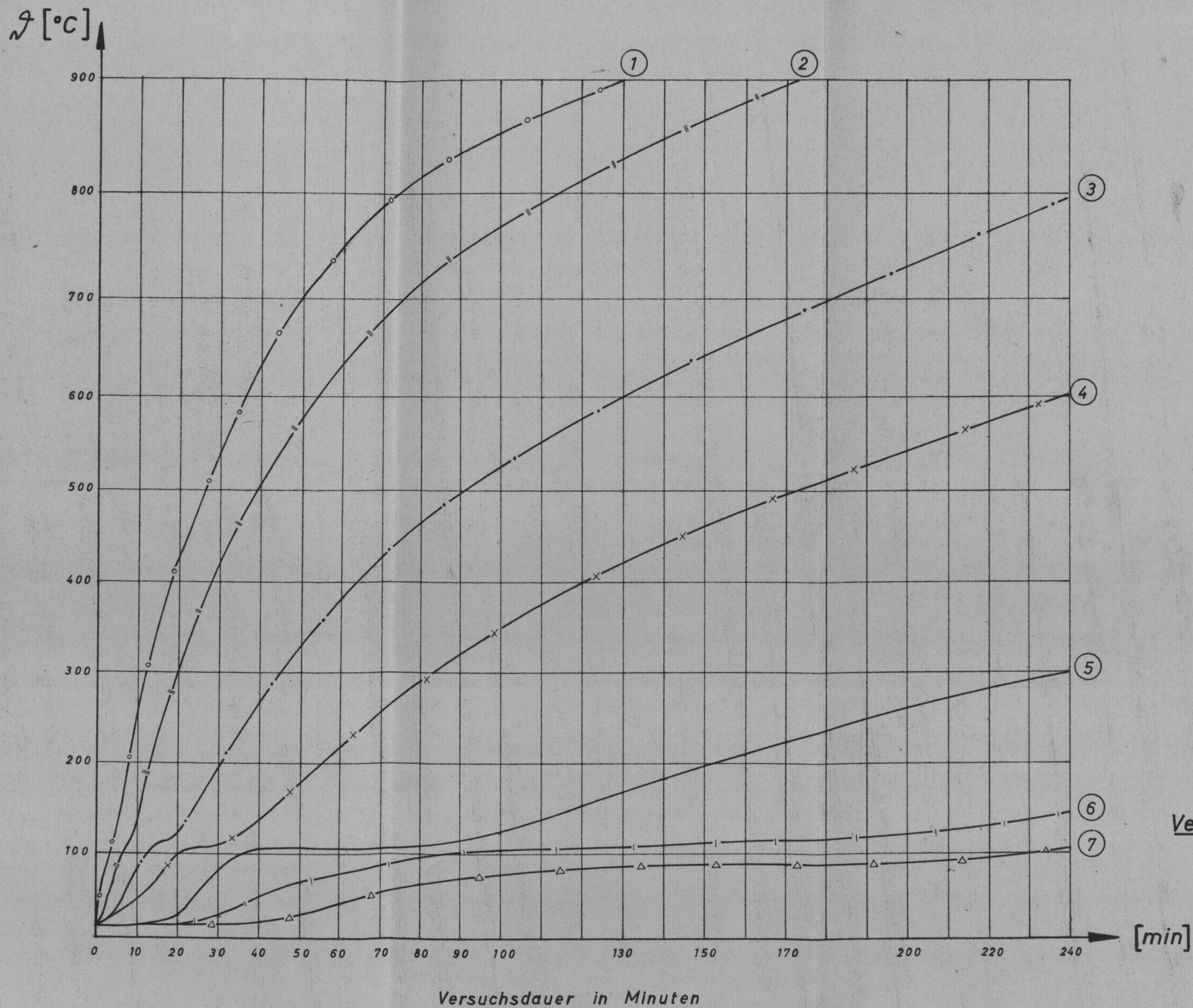
Versuchskörper 5.1

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Anlage 3.4

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig

Amliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen



Versuchskörper 1.1

Querschnittstemperaturen

○ Bezeichnung der Meßstellen siehe Anlage 1.1

Versuche zum Verhalten der Biegedruck-
zone unter Wärmeeinwirkung

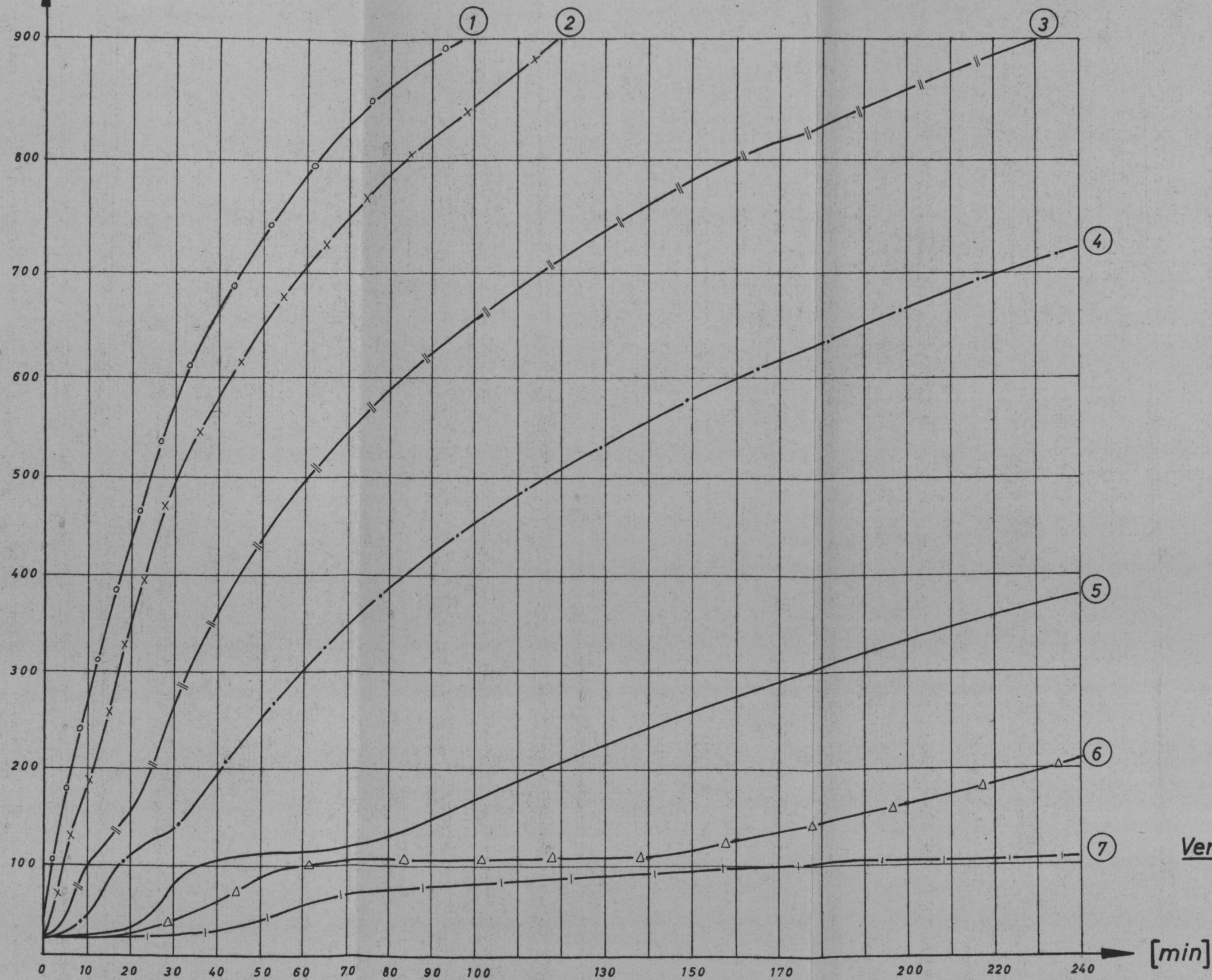
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau

Technische Hochschule Braunschweig

Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 4.1

$\vartheta [^{\circ}\text{C}]$



Versuchskörper 2.1

Versuchsdauer in Minuten

Querschnittstemperaturen

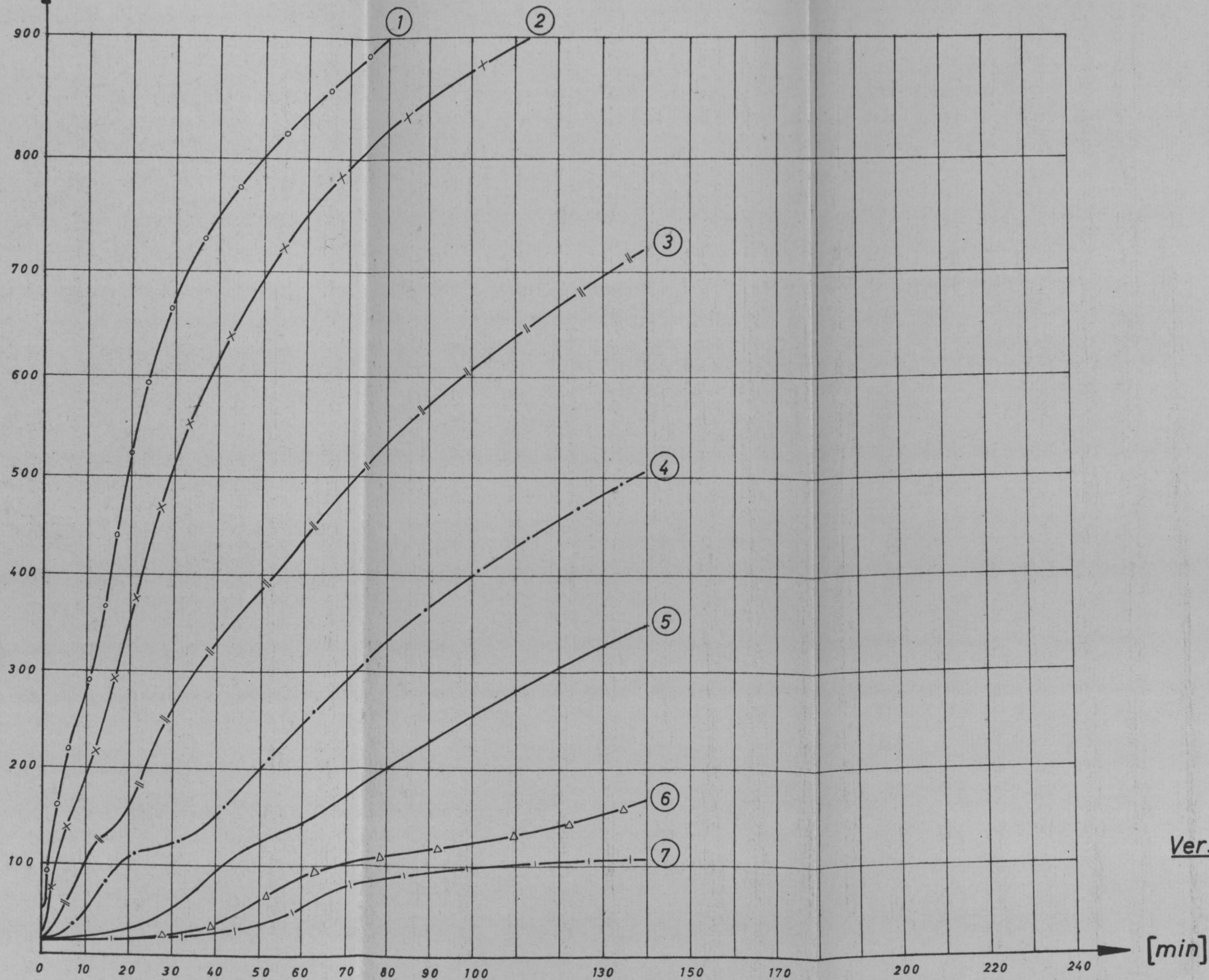
○ Bezeichnung der Meßstellen siehe Anlage 1.2

Versuche zum Verhalten der Biegedruck-
zone unter Wärmeeinwirkung

Anlage 4.2

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

$\vartheta [^{\circ}\text{C}]$



Versuchskörper 3.1

Versuchsdauer in Minuten

Querschnittstemperaturen

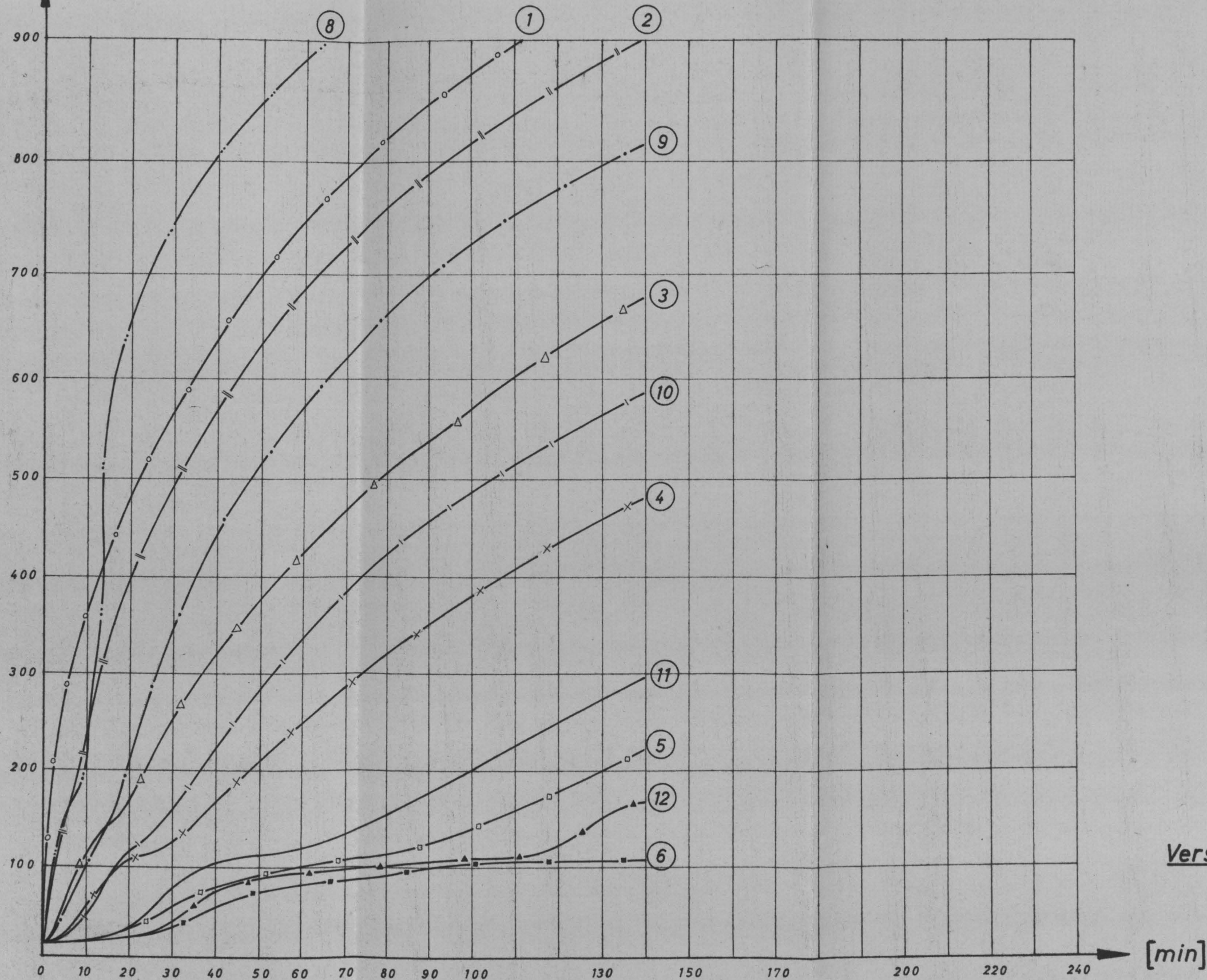
○ Bezeichnung der Meßstellen siehe Anlage 1.3

Versuche zum Verhalten der Biegedruck-
zone unter Wärmeeinwirkung

Anlage 4.3

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

$\vartheta [^{\circ}\text{C}]$



Versuchskörper 5.1

Versuchsdauer in Minuten

Querschnittstemperaturen

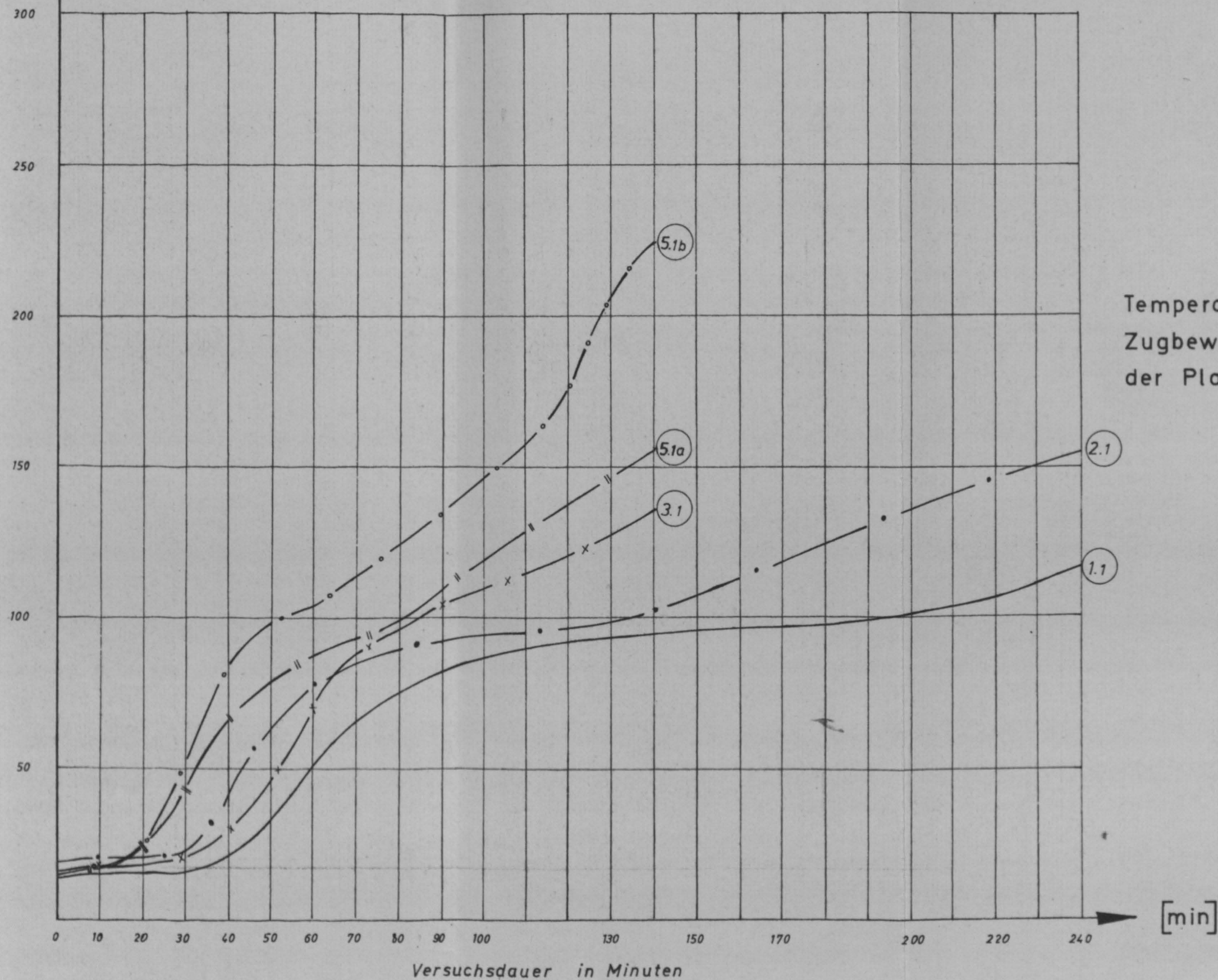
○ Bezeichnung der Meßstellen siehe Anlage 1.4
 7 ausgefallen

Versuche zum Verhalten der Biegedruck-
 zone unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 4.4

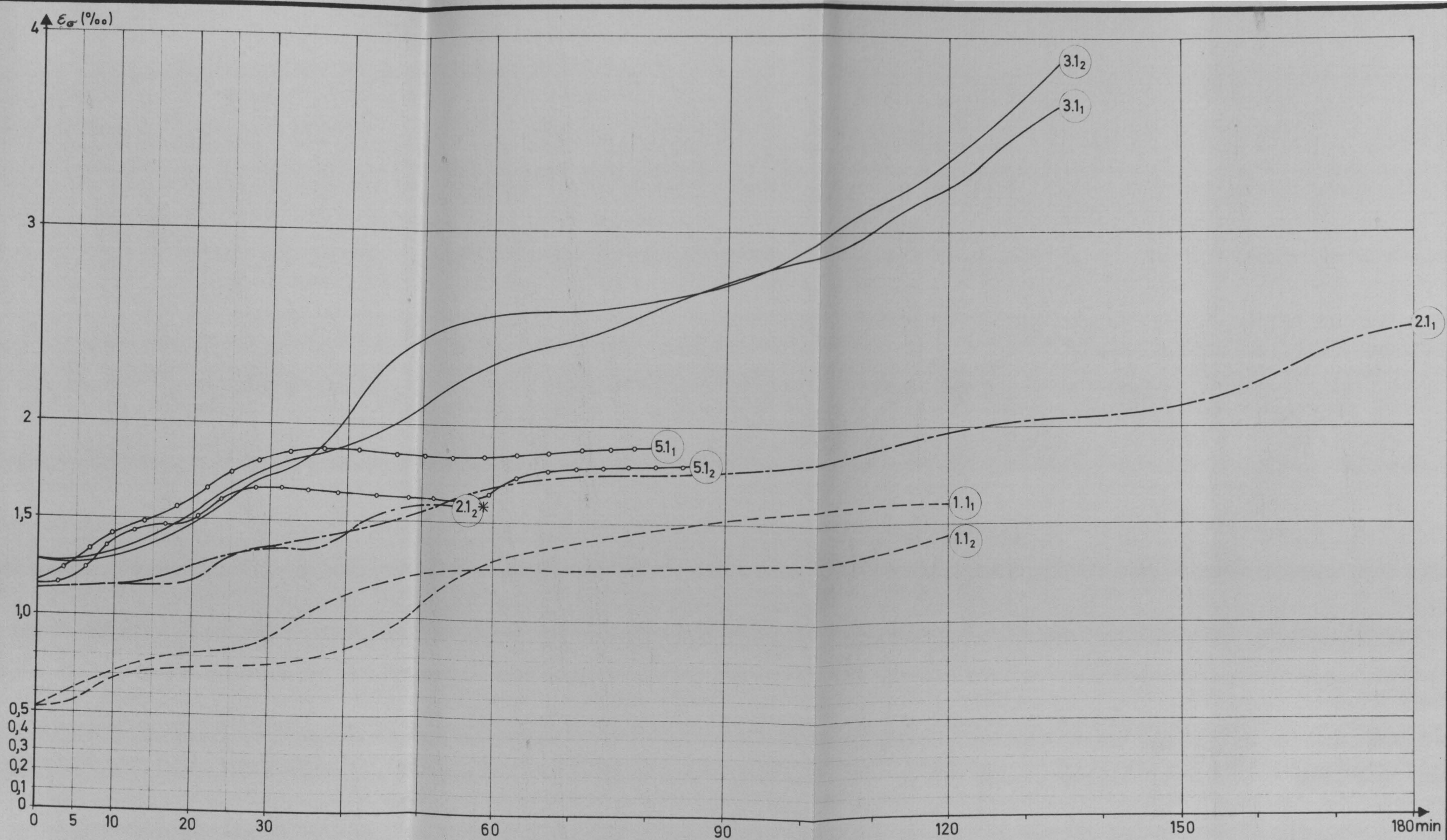
θ [°C]



Versuche zum Verhalten der Biegedruck-
zone unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 5



* Meßstelle ausgefallen

Dehnung der Zugbewehrung in Feldmitte
(Oberseite der Platte)

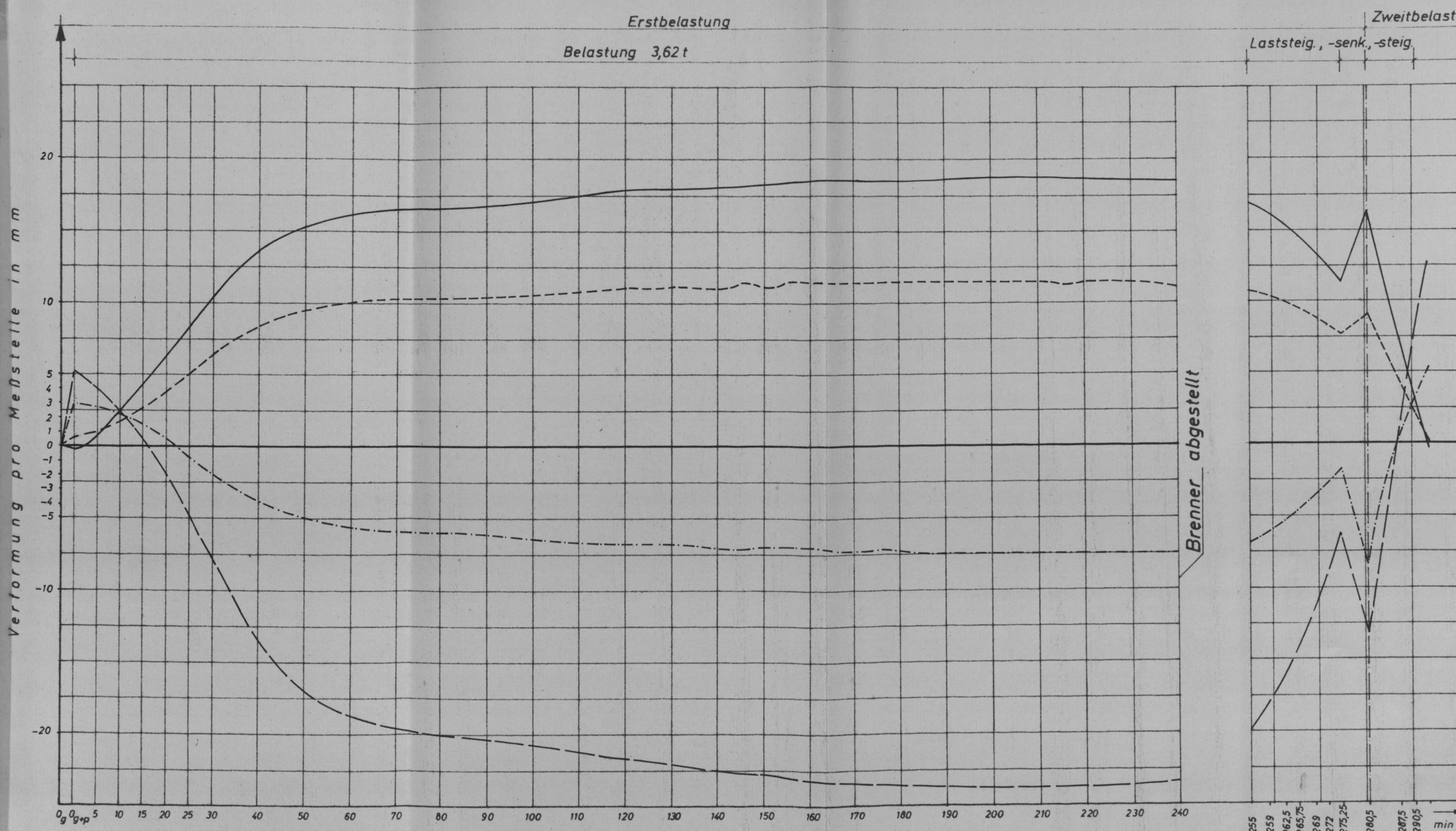
Belastung g + p

○ Nr. der Versuchskörper und Meßstellen

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Anlage 6

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen



Erstbelastung
Belastung 3,62 t

Zweitbelastg.
Laststeig., -senk., -steig.

Brenner abgestellt

min
255 259 262,5 265,75 269 272 275,25 280,5 287,5 290,5

Belastungsstufen
in t:
3,62 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 0,0 4,8 5,0

Meßstelle	δ (mm)	Symbol
2	+3,5	—
4	+2,1	- - -
6	+3,1	- · - · -
8	+7,6	- - - - -

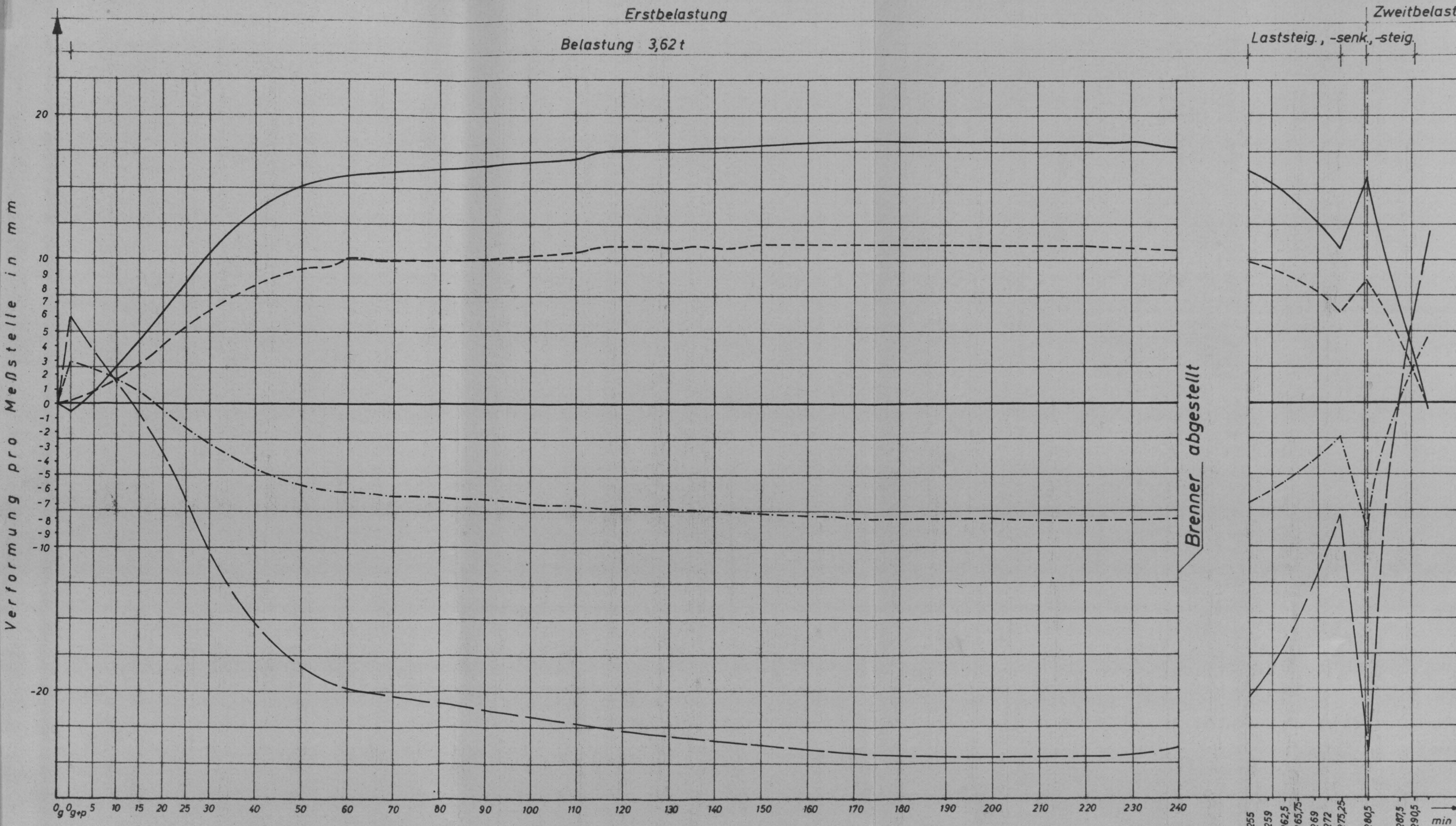
Bruchlast 5 t
 δ = Bruchdurchbiegung

Versuchskörper 1.1
Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfstalt für das Bauwesen

Anlage 7.1



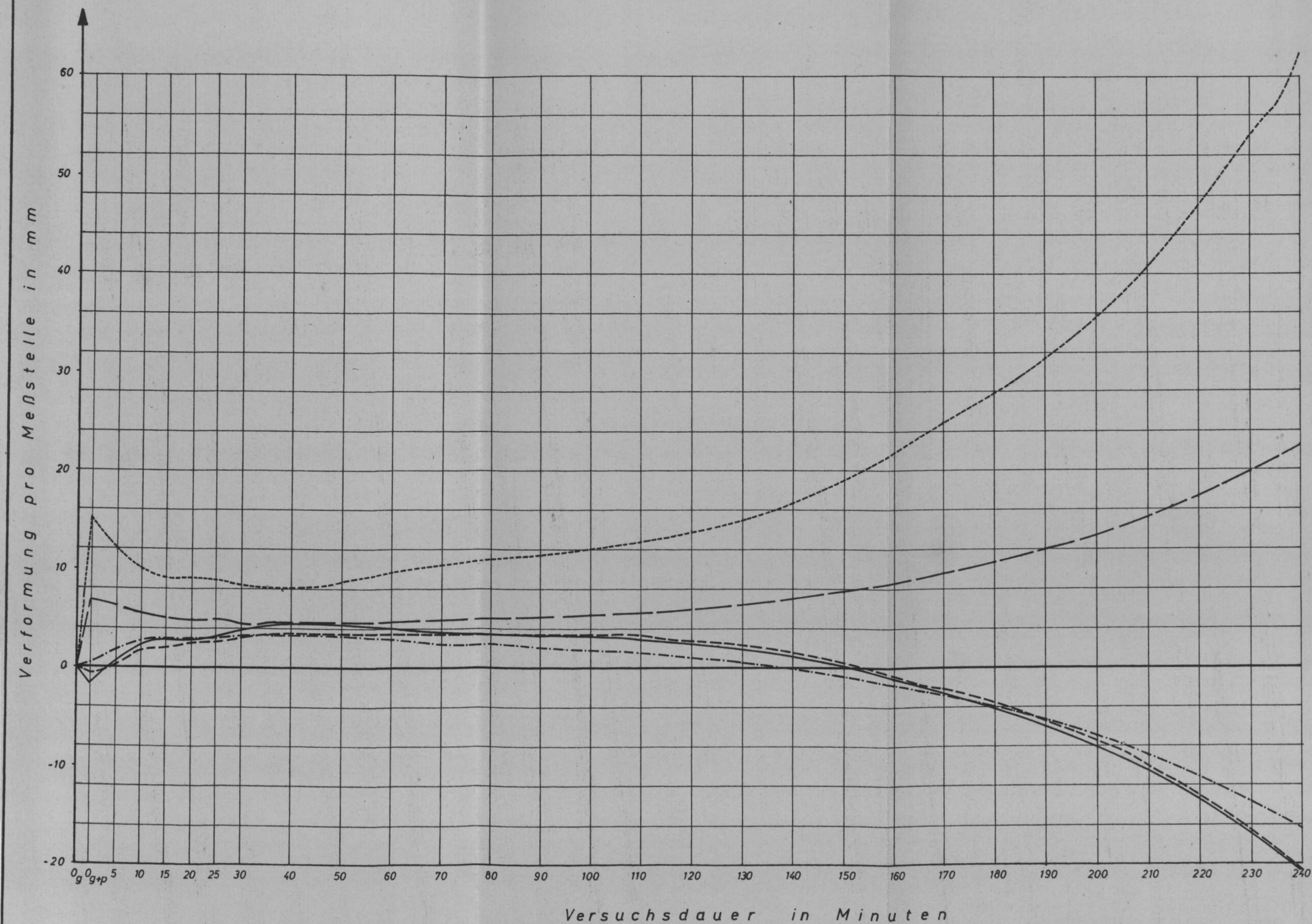
Meßstelle	δ (mm)	Symbol
1	+ 3,3	—
3	+ 2,2	- - -
5	+ 2,4	- · - · -
7	+ 6,0	- - - - -

Bruchlast 5t
 δ = Bruchdurchbiegung

Versuchskörper 1.1
 Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
 unter Wärmewirkung
 Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 7.2

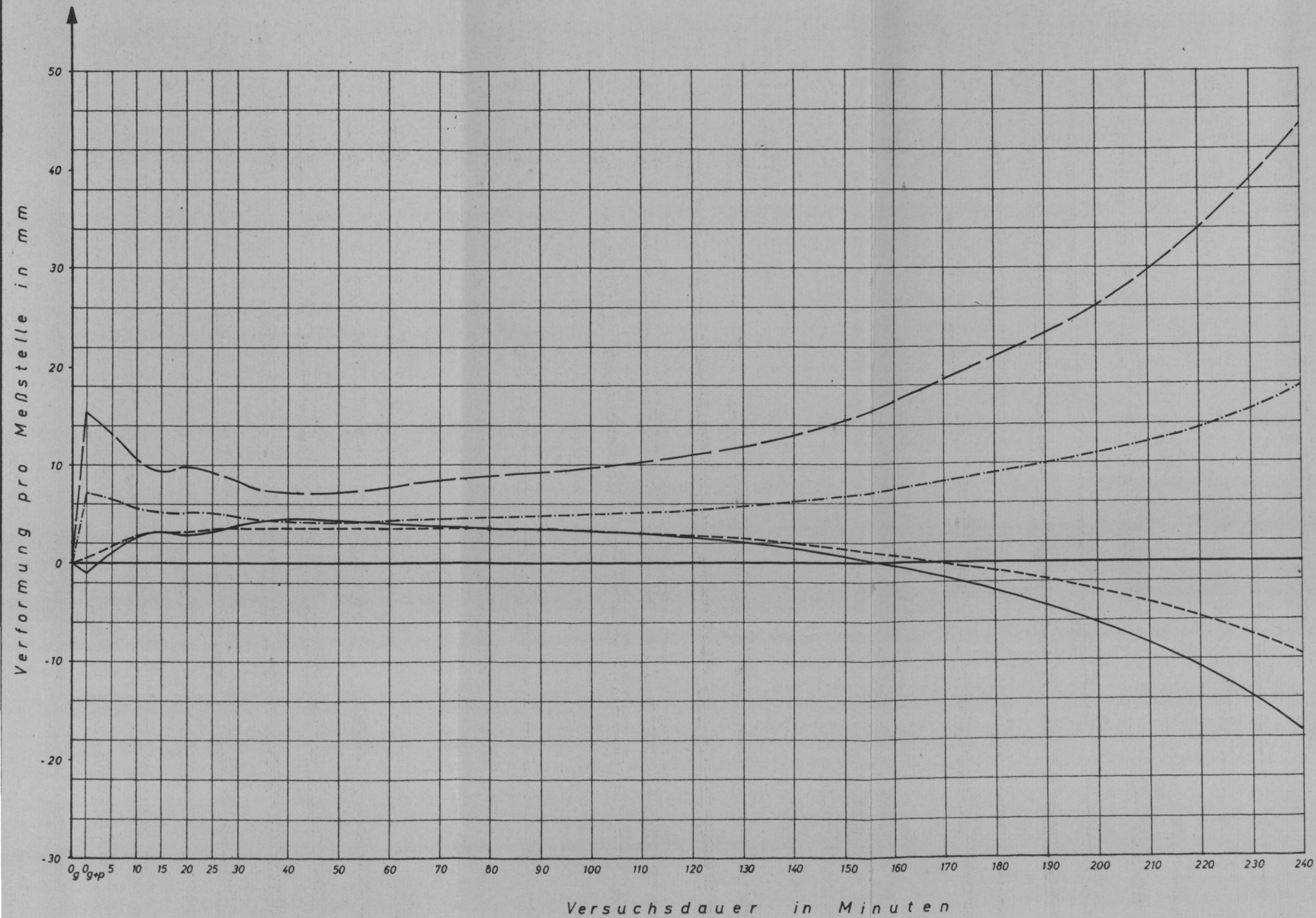


Versuchskörper 2.1 Belastung 10,15 t
Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 7.3

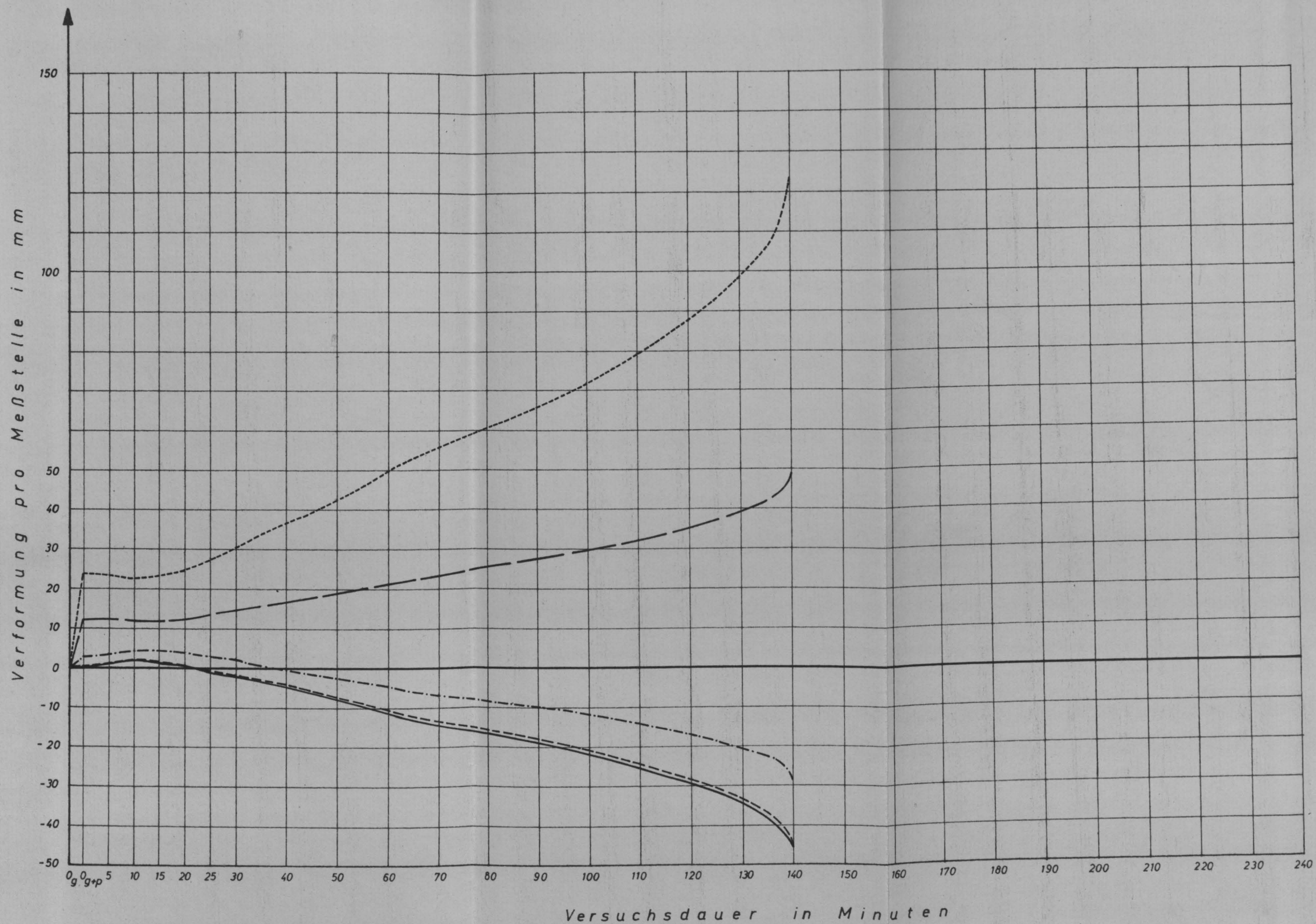


Versuchskörper 2.1 Belastung 10,15t
Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 7.4

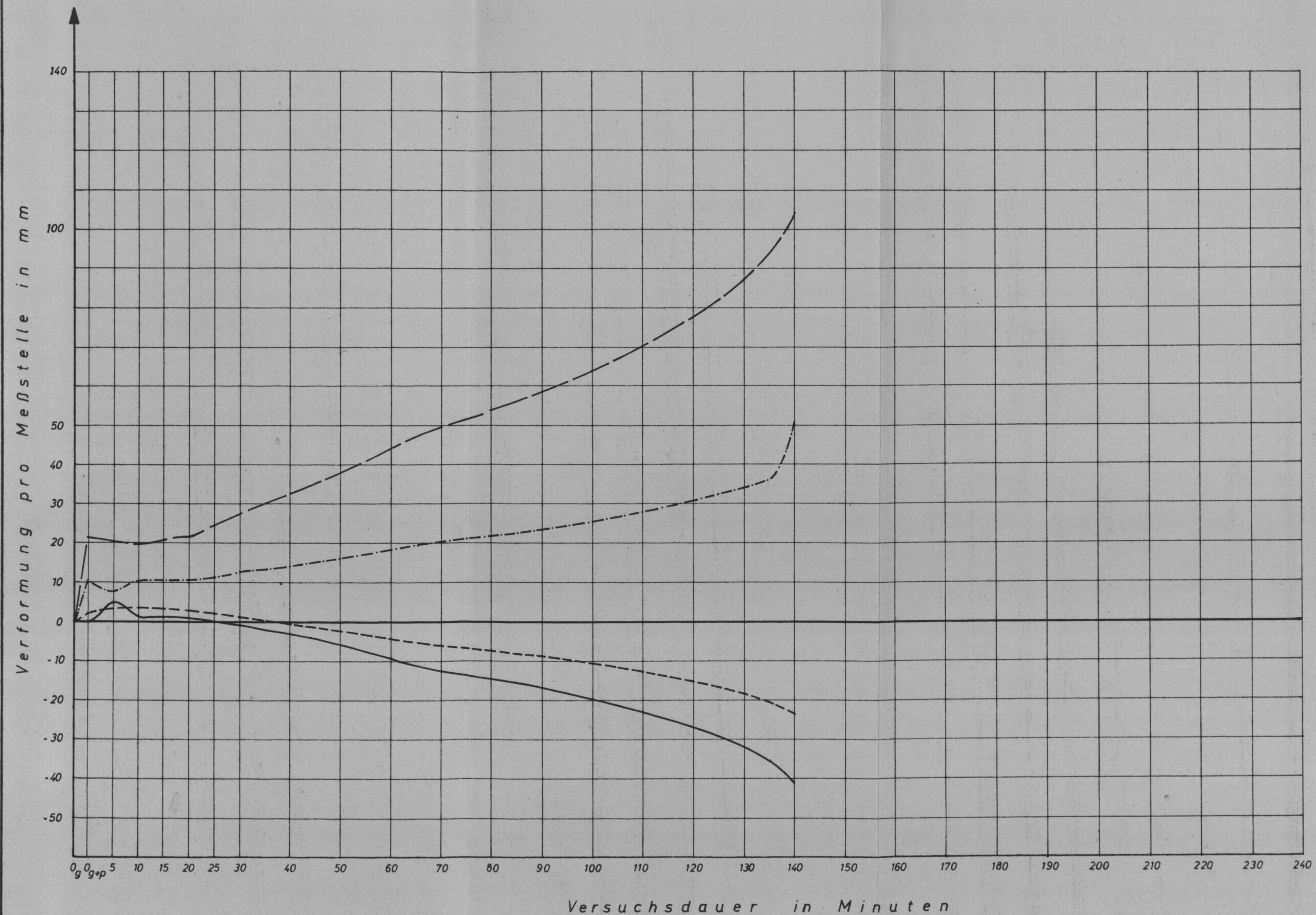


Versuchskörper 3.1 Belastung 19,42 t von 0 bis 140 Min.
Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 7.5



Bruchlast 19,42 t
Bruchdurchbiegung:

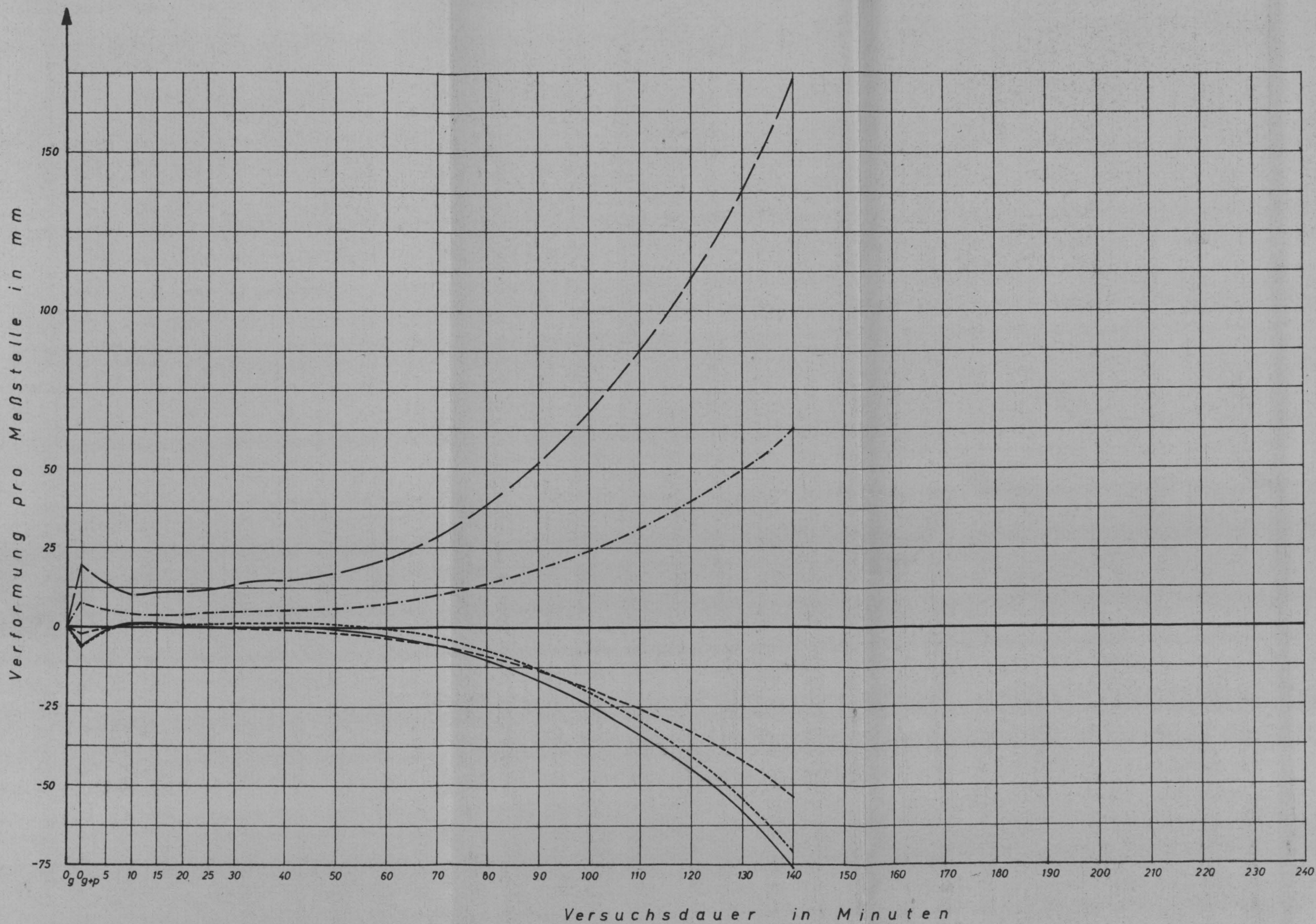
Meßstelle	δ (mm)	Symbol
0		
1	- 41,0	—
2		
3	- 23,5	---
4		
5	+50,2	-.-.-
6		
7	+104,2	---
8		

Versuchskörper 3.1 Belastung 19,42t von 0 bis 140 Min.
Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 7.6



Bruchlast

Bruchdurchbiegung:

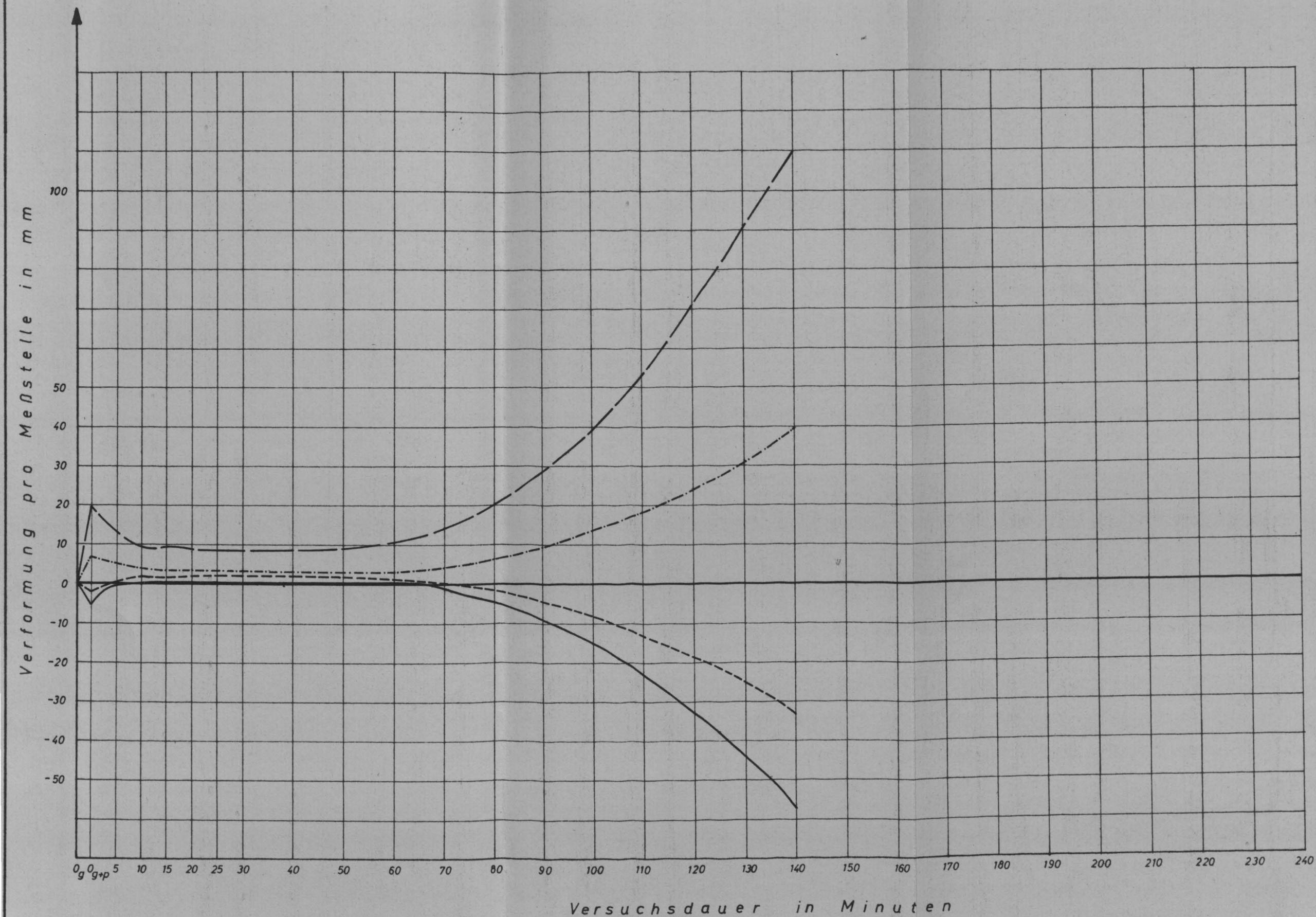
Meßstelle	δ (mm)	Symbol
0	-71,1	-----
1		-----
2	-76,4	-----
3		-----
4	-53,5	-----
5		-----
6	+62,9	-----
7		-----
8	+173,1	-----

Versuchskörper 5.1 Belastung 4,83t von 0 bis 140 Min.
Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 7.7



Bruchlast 4,83t
Bruchdurchbiegung:

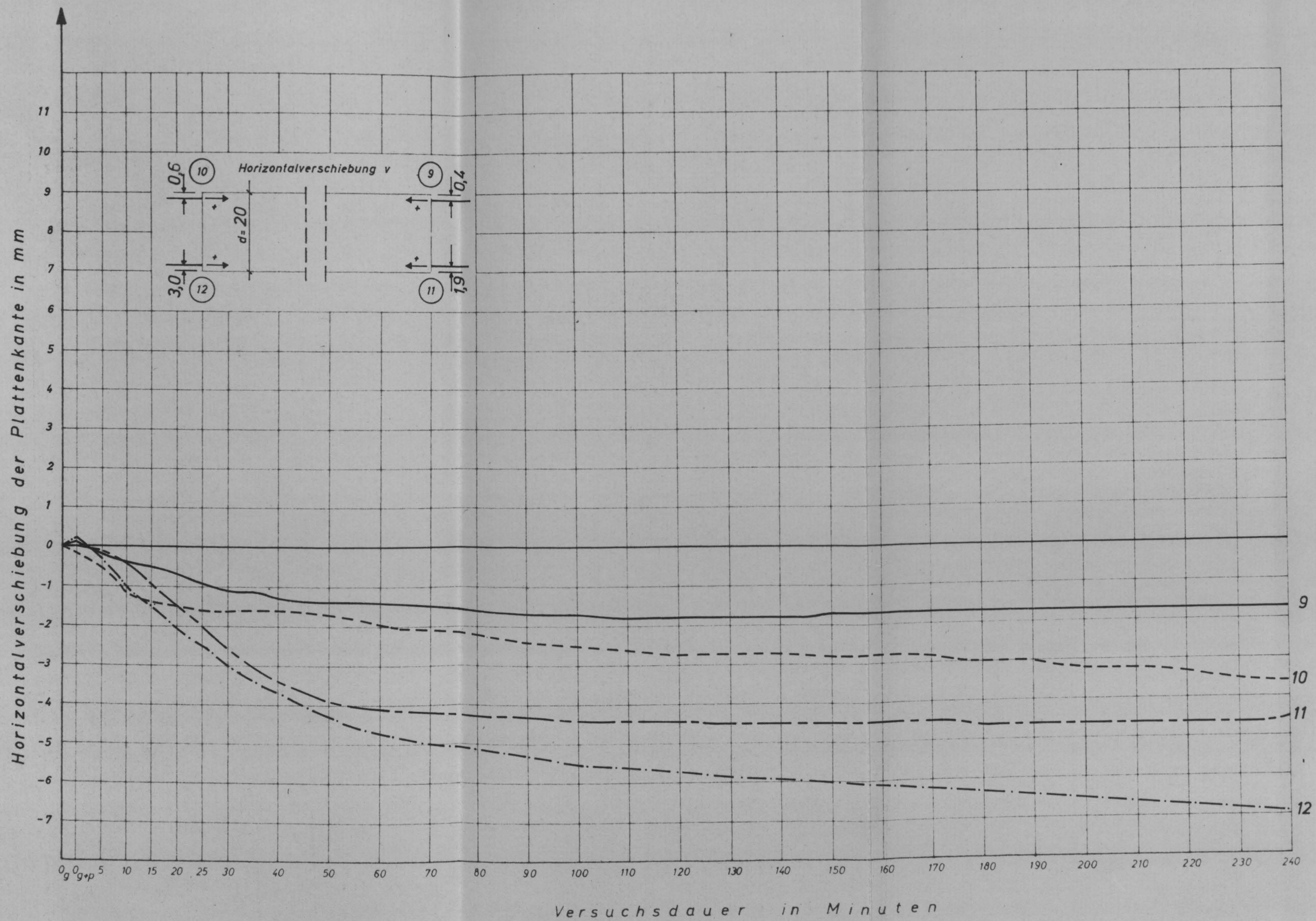
Meßstelle	δ (mm)	Symbol
0		
1	-57,3	—
2		
3	-33,4	- - -
4		
5	+39,8	- · - · -
6		
7	+100,6	— · —
8		

Versuchskörper 5.1 Belastung 4,83t von 0 bis 140 Min.
Vertikaldurchbiegung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 7.8

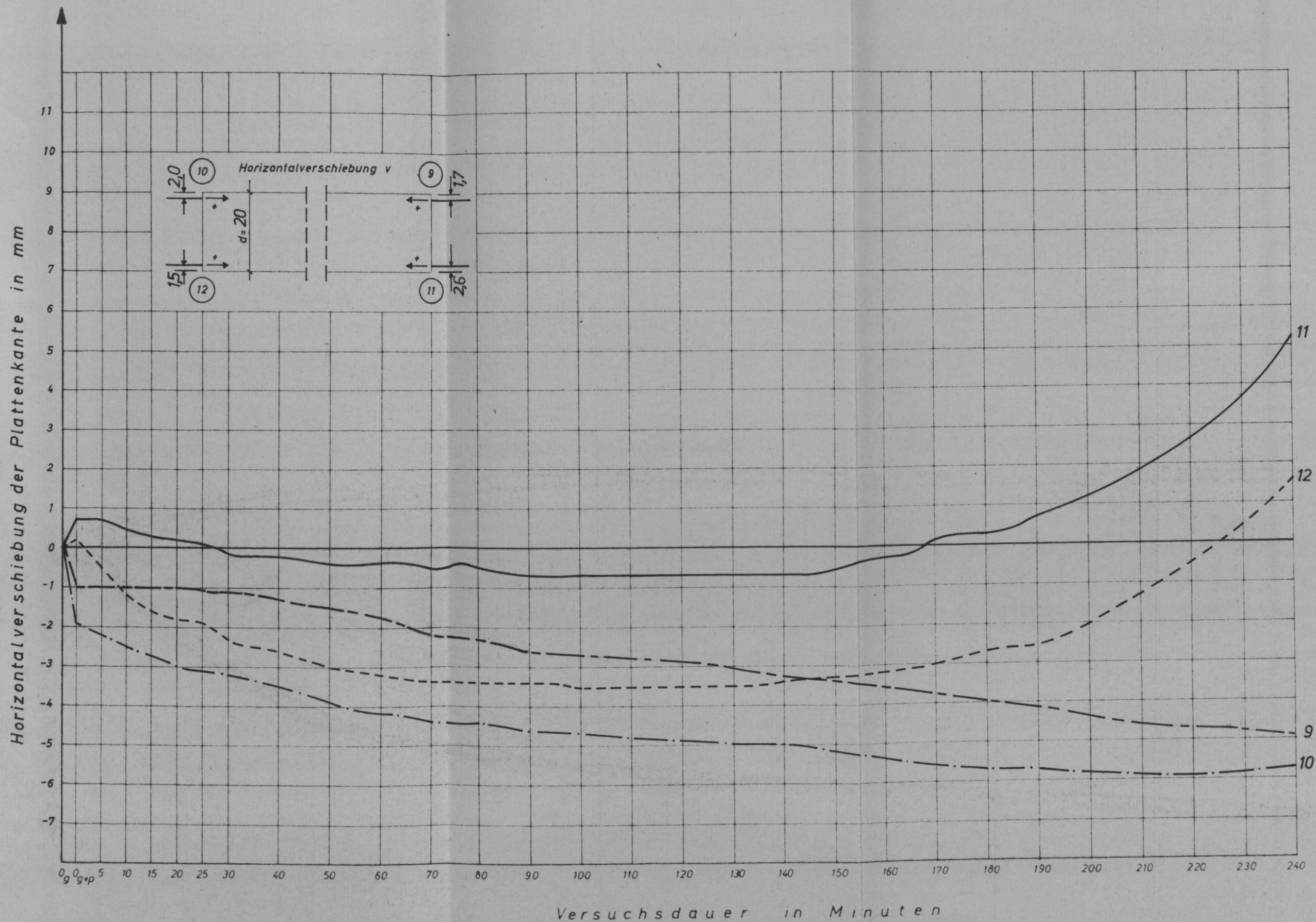


Versuchskörper 1.1
Horizontalverschiebung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 8.1

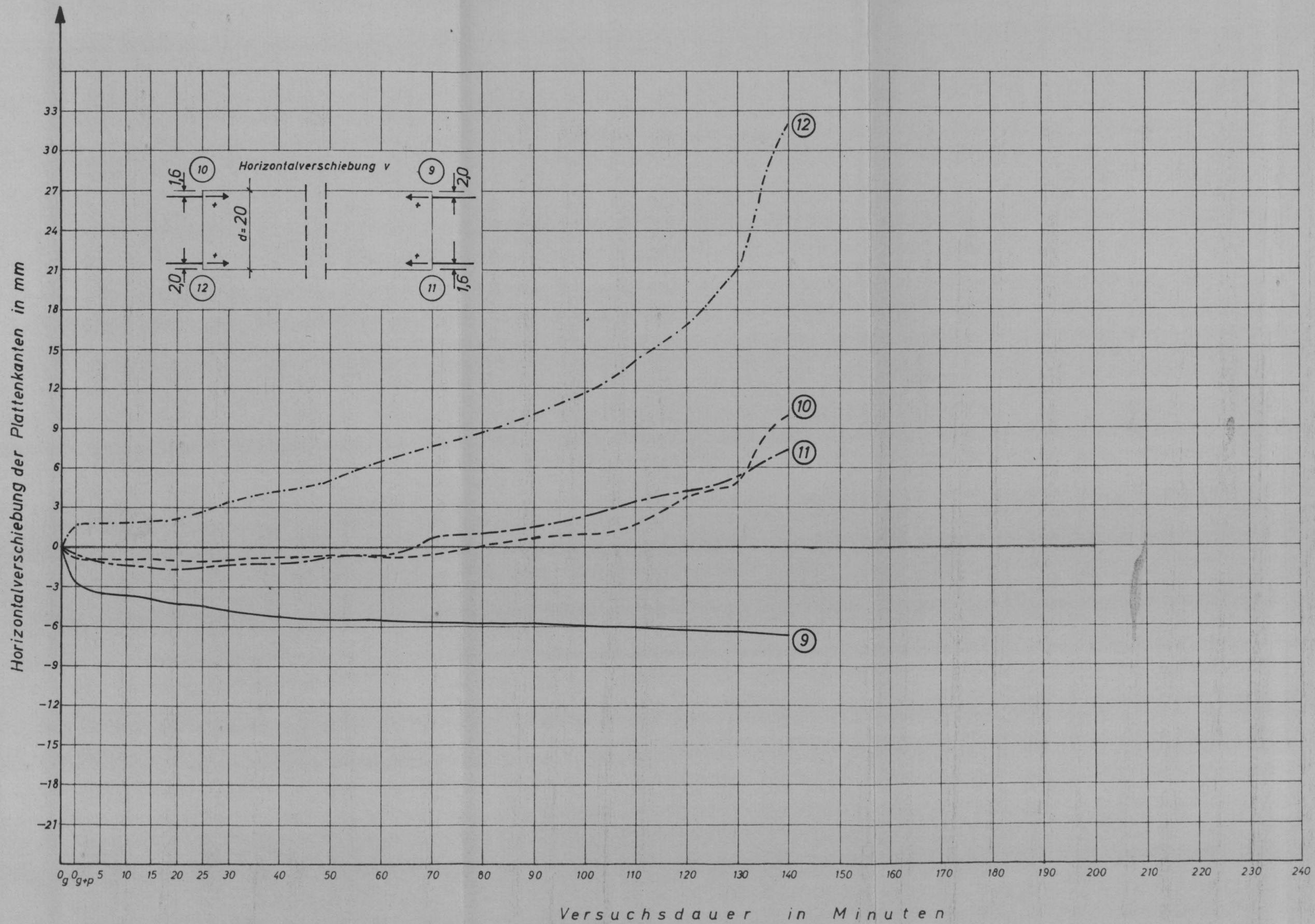


Versuchskörper 2.1 Belastung
Horizontalverschiebung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 8.2

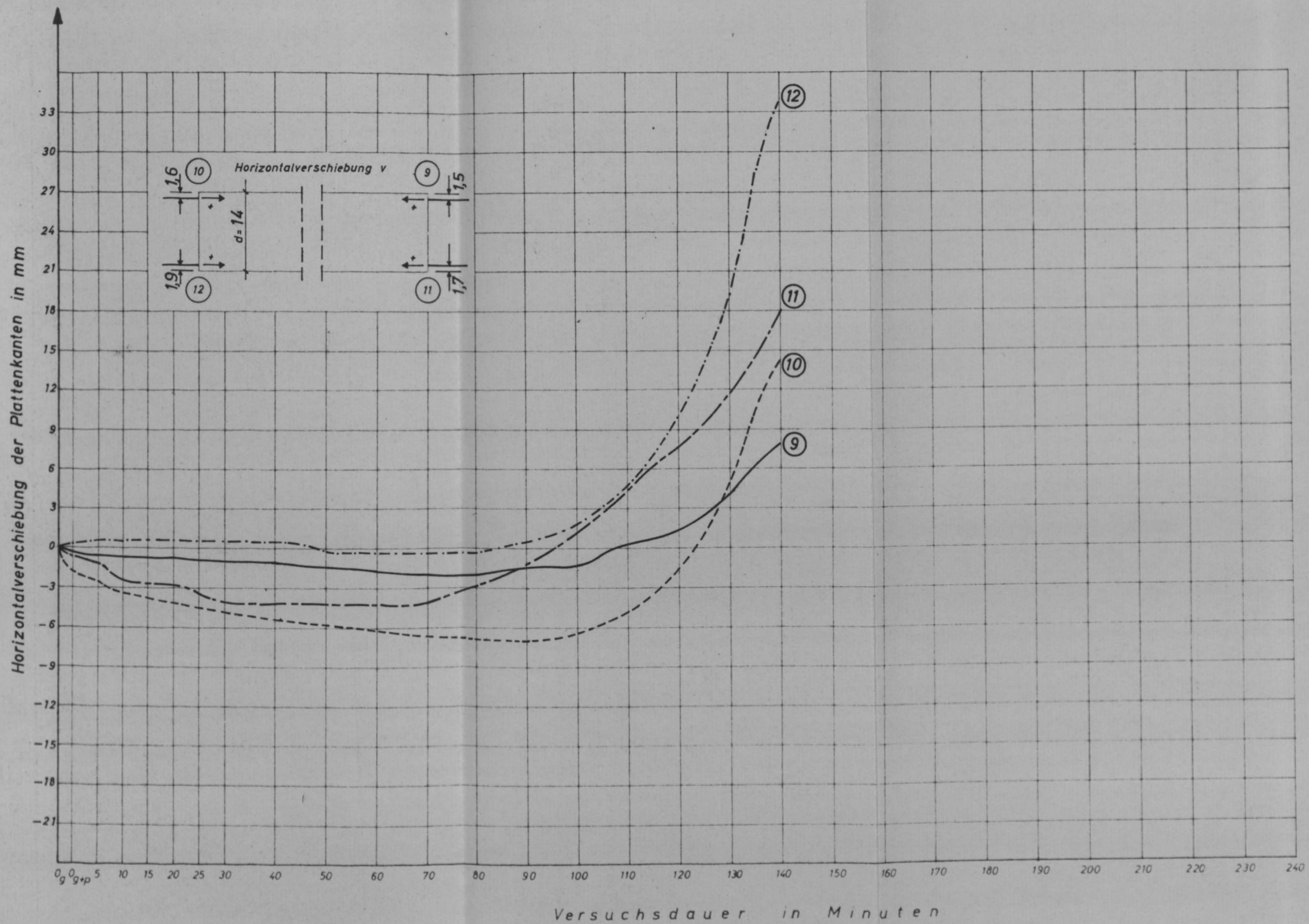


Versuchskörper 3.1
Horizontalverschiebung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Daustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 8.3



Versuchskörper 5.1
Horizontalverschiebung

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmewirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 8.4

Versuchskörper 2.1

Tiefe (in cm) der Abplatzungen in der beflamten Biegedruckzone

Auflagerlinie

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	20
15	20	15	13	0	0	0	0	0	0.2	0.4	
15	30	36	0.1	0	0	1.1	0.3	0.7	0.2	0.4	
15	40	40	1.7	0	0	1.5	0.3	0	0	0.1	
50	13	36	2.1	0.3	1.5	3.1	2.2	2.2	2.2	0.2	
60	0	40	2.0	0.9	1.0	2.7	1.7	3.6	3.7	1.6	
70	2.2	4.9	2.2	1.1	0.8	0.4	1.3	1.7	3.9	2.1	
80	2.0	4.5	2.5	0.9	0.7	1.2	0.5	1.7	2.6	0.7	
90	1.5	4.2	0.6	0	0	0.8	0.2	1.8	1.8	2.6	
100	1.6	1.1	0	0	0	0.6	1.7	1.0	0.8	0.1	
11	20	20	20	20	20	220	20	20	20	20	
150											

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 9.1

Versuchskörper 3.1

Tiefe (in cm) der Abplatzungen in der beflamten Biegedruckzone

Auflagerlinie

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
15	20	15	23	21	17	0,6	1,7	1,4	2,0	0,9	0,7	
15	30	27	71	61	60	29	1,3	2,4	5,9	6,2	2,5	
15	40	30	82	72	57	4,6	3,0	3,9	6,3	6,4	2,6	
50		19	5,5	60	3,9	3,6	2,6	3,5	5,8	4,6	1,1	
60		26	5,6	4,8	2,4	2,1	3,6	5,0	6,4	5,6	2,4	
70		0,8	31	3,4	2,3	3,1	1,6	4,0	5,4	4,0	2,0	
80		1,1	32	2,3	3,3	2,9	0	1,6	5,5	3,6	0,8	
90		1,2	1,9	1,7	1,2	1,6	0	0	2,4	3,3	1,1	
100		1,4	3,0	1,4	0,8	0,3	0	0	1,8	3,8	0,6	
11	20	20	20	20	220				20	20		
	150											

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau

Technische Hochschule Braunschweig

Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 9.2

Versuchskörper 4.1

Tiefe (in cm) der Abplatzungen in der beflamten Biegedruckzone

Auflagerlinie

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
15	20	0	0,7	0,6	0	0	0,3	0,2	0	0,4	0	
15	30	0,3	0	1,5	0	0,3	0	0	0	0	0	
15	40	0,1	0,1	1,0	0	0	0	0	2,3	3,7	1,6	
5	0	0,1	2,2	1,1	0	0	0	0	3,3	3,2	0	
6	0	0,5	2,4	0,7	0,4	0,3	1,0	2,0	2,3	3,2	0	
7	0	0,5	1,0	0	0,1	2,0	0,2	1,3	1,5	2,3	0	
8	0	0,5	0,9	0	0,6	2,0	1,5	1,3	1,4	3,3	0	
9	0	0	0,9	0	1,2	1,7	0,8	0,1	0,1	0,5	0,9	
10	0	0	0	0,8	0,5	1,5	0,1	0	0,2	0,5	0,8	
11	20	20	20	20	220							20

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 9.3

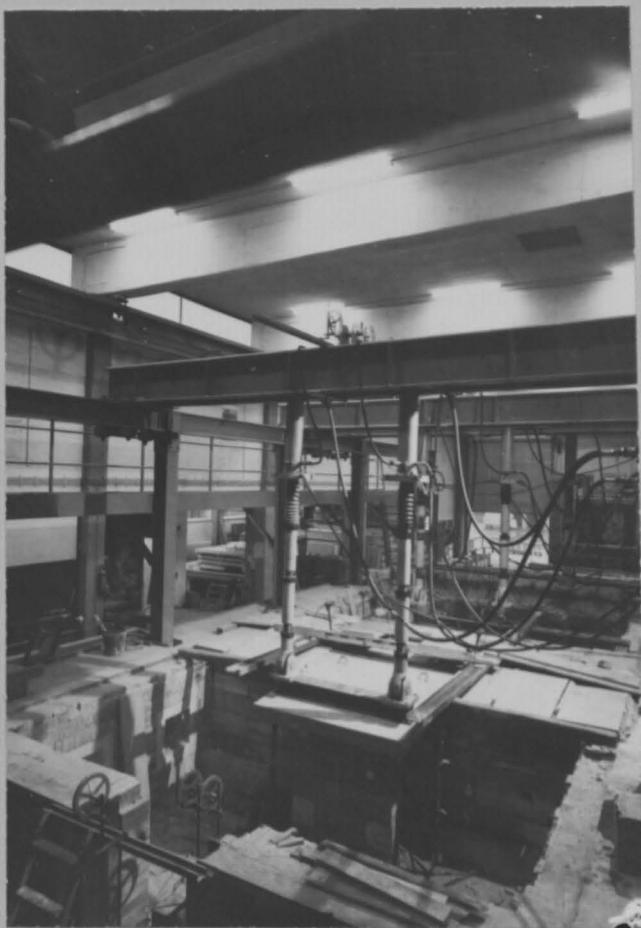


Bild 1

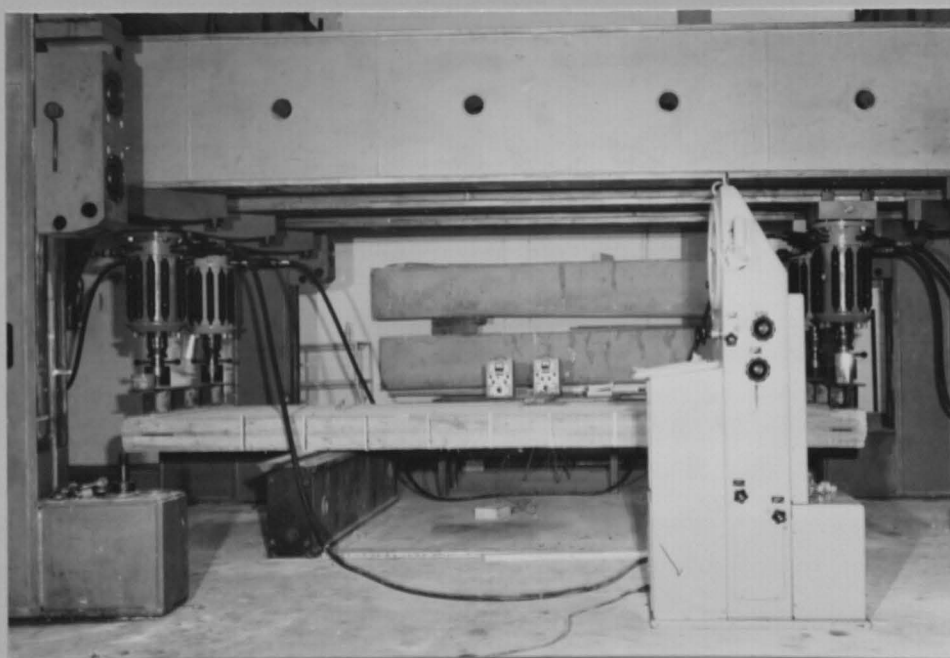


Bild 2

*Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung*

*Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig*

Amliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

*Anlage zum
Untersuchungsbericht*

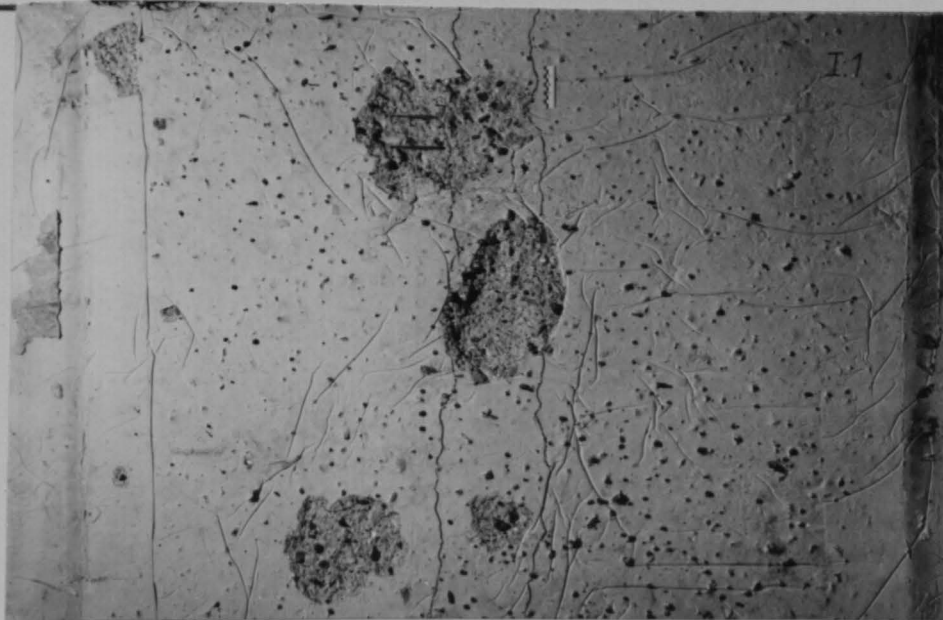


Bild 3

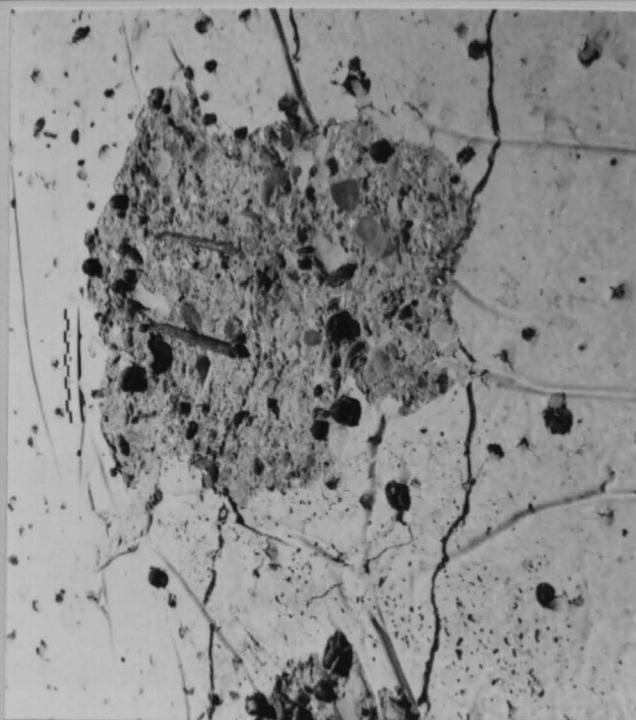


Bild 4

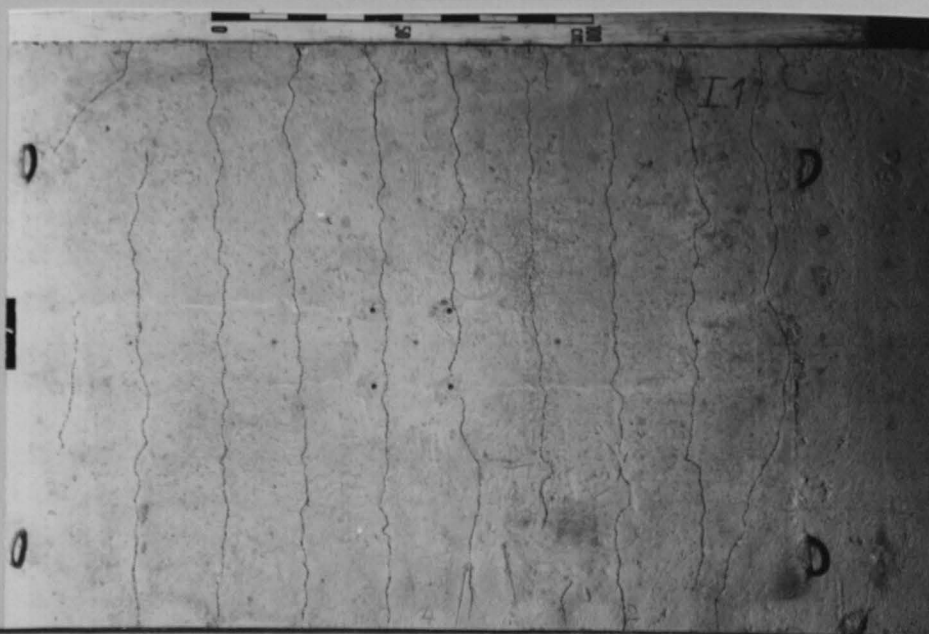


Bild 5

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig

Amliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage zum
Untersuchungsbericht

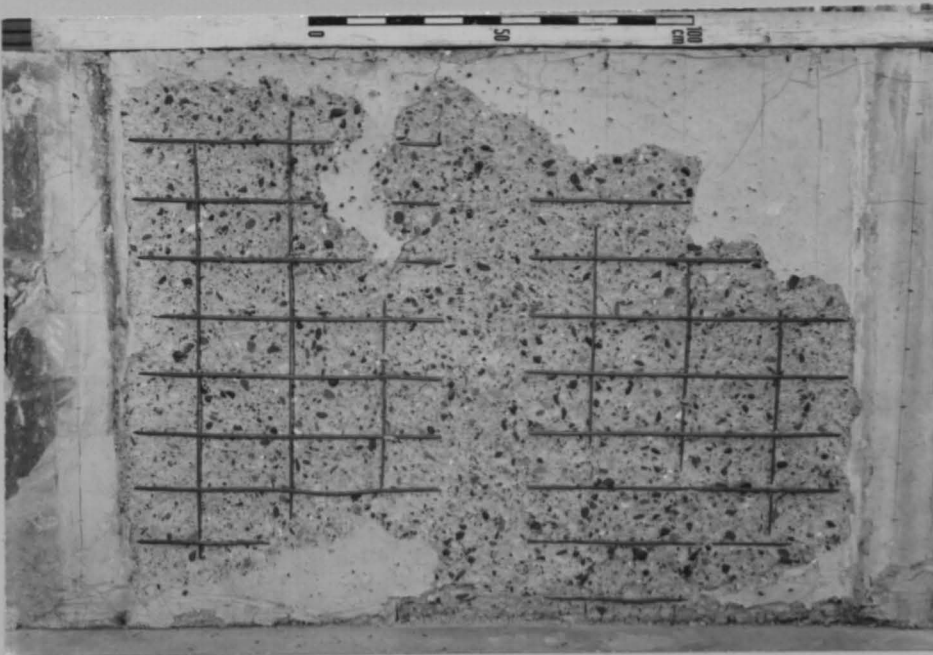


Bild 6

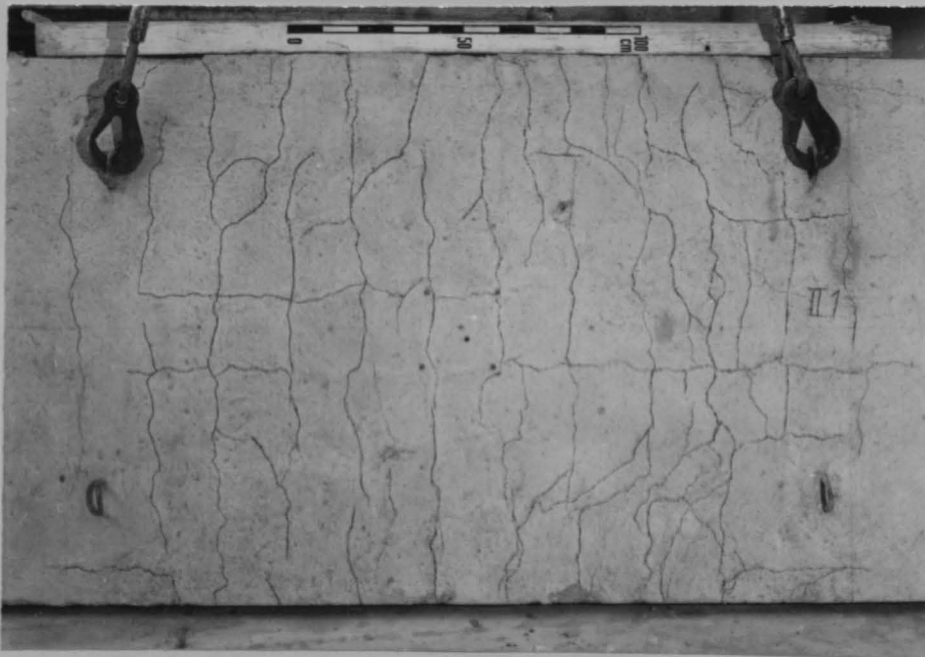


Bild 7

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig

Ämliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage zum
Untersuchungsbericht

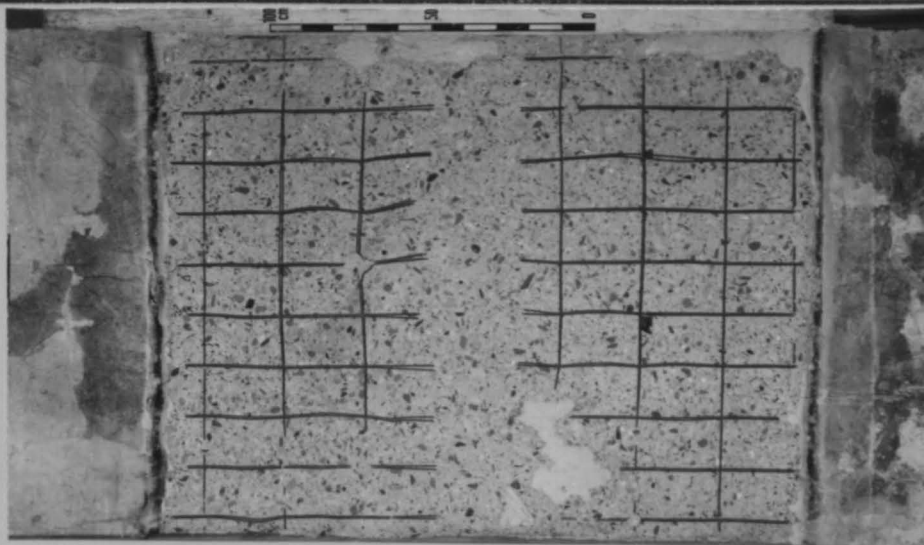


Bild 8



Bild 9

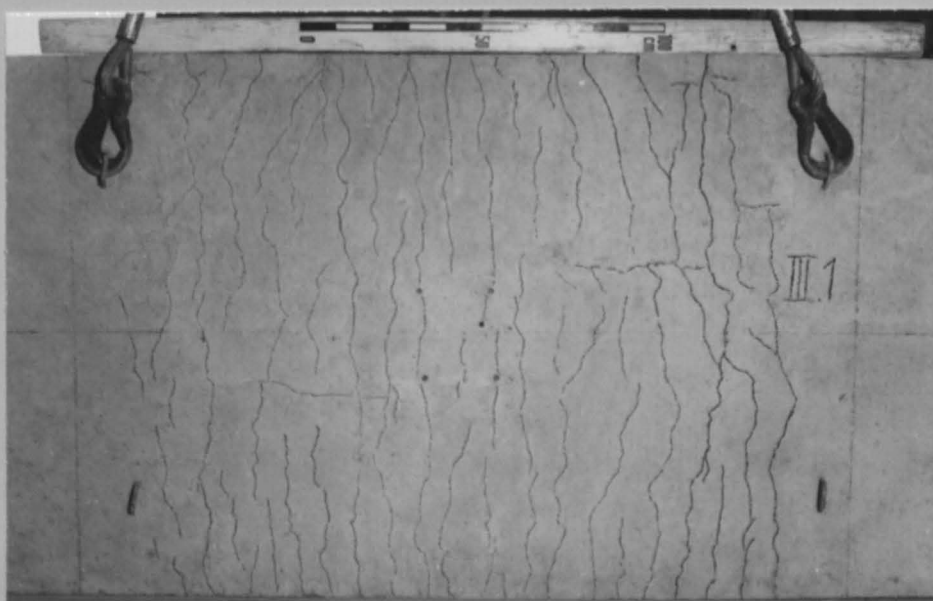


Bild 10

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig

Ämliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage zum
Untersuchungsbericht

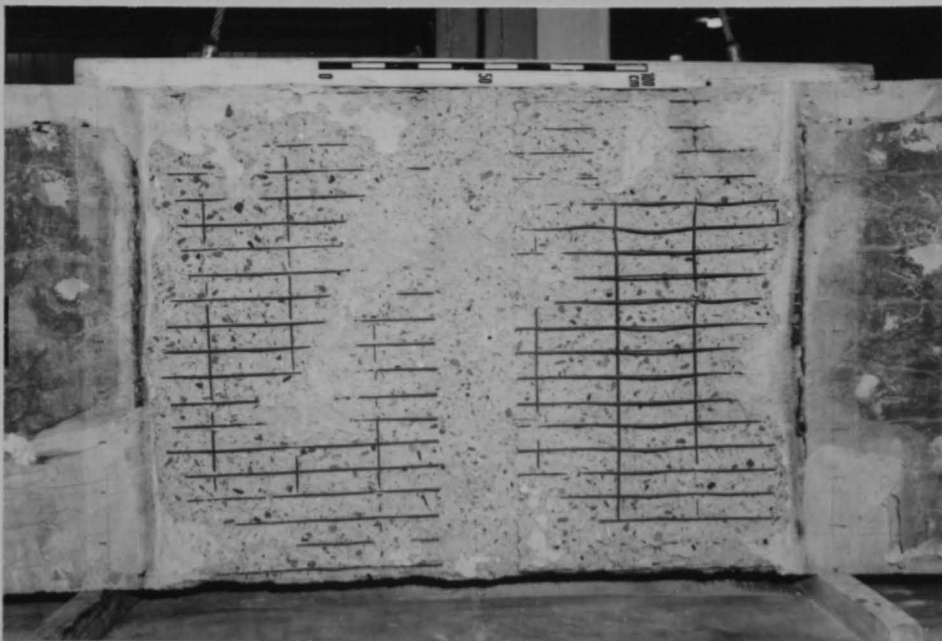


Bild 11

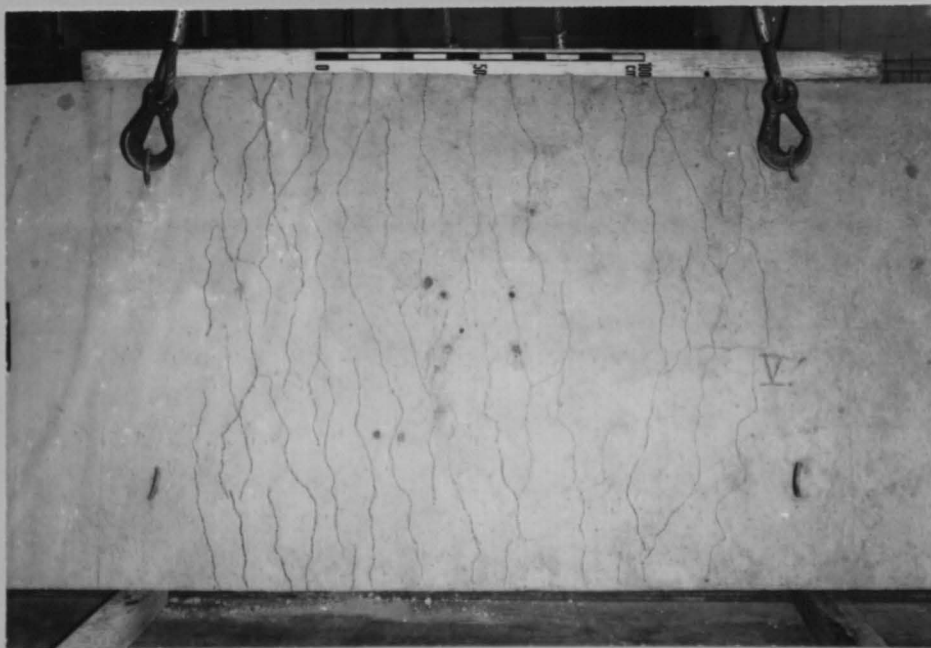


Bild 12

Versuche zum Verhalten der Biegedruckzone
unter Wärmeeinwirkung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig

Ämliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage zum
Untersuchungsbericht